İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

BARİT VE ATIK KAUÇUK AGREGALI KİREÇTAŞI-KALSİNE KİL-ÇİMENTOLU (LC^3) MALZEMENİN SES İLETİM KAYBI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

DOKTORA TEZİ

Begüm SÖYEK ABAY

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Bilimleri Programı

MART 2024

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

BARİT VE ATIK KAUÇUK AGREGALI KİREÇTAŞI-KALSİNE KİL-ÇİMENTOLU (LC^3) MALZEMENİN SES İLETİM KAYBI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

DOKTORA TEZİ

Begüm SÖYEK ABAY
(502152414)

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Bilimleri Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Leyla TANAÇAN

MART 2024

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY★ GRADUATE SCHOOL

A RESEARCH ON SOUND TRANSMISSION LOSS OF LIMESTONE-CALCINED CLAY-CEMENT (LC^3) MATERIALS WITH BARITE AND WASTE RUBBER AGGREGATES

Ph.D. THESIS

Begüm SÖYEK ABAY
(502152414)

Department of Architecture

Construction Sciences Programme

Thesis Advisor: Prof. Dr. Leyla TANAÇAN

MARCH 2024

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 502152414 numaralı Doktora Öğrencisi Begüm SÖYEK ABAY, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "BARİT VE ATIK KAUÇUK AGREGALI KİREÇTAŞI-KALSİNE KİL-ÇİMENTOLU (LC^3) MALZEMENİN SES İLETİM KAYBI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Leyla TANAÇAN** .....
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Halit Yaşa ERSOY** .....
Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi

Doç. Dr. Halet Almıla BÜYÜKTAŞKIN .....
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Sevtap YILMAZ .....
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Çiğdem TEKİN .....
Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi

Teslim Tarihi : 5 Ocak 2024
Savunma Tarihi : 1 Mart 2024

Eşime, aileme ve kıymetlim anneanneme,

ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca bana her konuda destek olan, anlayışla yaklaşan, akademik araştırma yöntemleri konusunda deneyimlerini paylaşan ve yön gösteren Sayın Hocam Prof. Dr. Leyla TANAÇAN'a;

Bilgi ve görüşlerinden yararlandığım jüri üyelerim Sayın Prof. Dr. Halit Yaşa ERSOY ve Sayın Doç. Dr. Halet Almıla BÜYÜKTAŞKIN'a ve misafir jüri üyesi olarak destek sağlayan Prof. Dr. Sevtap YILMAZ'a;

Deney sürecinde çalışmalarıma katkı sağlayan ve destek olan, İTÜ Mimarlık Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvar görevlisi Sayın Öğretim Görevlisi Dr. Erman Yiğit TUNCEL ve laboratuvar teknikeri Sayın İbrahim ÖZTÜRK'e;

Deneysel çalışmalarım için gerekli malzemelerin temininde destek olan Kaolin firmasına ve burada çalışan Erdem KURT'a, Akçansa firmasına ve burada çalışan Teoman ERENOĞLU'na, Çimsa firmasına, İTÜ TİCEM'e ve bu birimde çalışan Burak YORULMAZ'a, Gazisan kauçuk fabrikasına, Isparta ADOBAŞER madenciliğe;

Araştırma sürecinde, empedans tüpü yardımıyla ses iletim kaybı ölçümlerini hizmet alımı kapsamında gerçekleştiren Türk Standartları Enstitüsüne ve ses iletim kaybı ölçümü ve raporlanması konusundaki emeklerinden dolayı TSE Tuzla Yapı Malzemesi Yangın ve Akustik Laboratuvarı akustik bölümü çalışanlarından Sencer GÜVEN'e, Mehmet Hudai BAŞTÜRK'e ve özellikle Berat USTA'ya teşekkür ederim.

Doktora çalışmam süresince bana olan desteği, ilgisi ve sabrı için çok sevgili eşime, sonsuz desteklerini hayatımın her anında hissettiğim canım aileme ve çok sevgili dostlarıma en içten şükranlarımı sunarım. Yanında büyüdüğüm, bana ilham veren, hayatımda gördüğüm en güçlü kadın anneanneme bu tezi ithaf ederim.

Bu tez İTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Biriminin 42480 numaralı proje desteği ile tamamlanmıştır. İTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkürlerimi sunarım.

Mart 2024

Begüm SÖYEK ABAY
(Yüksek Mimar)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **ix**
İÇİNDEKİLER ..... **xi**
KISALTMALAR ..... **xv**
SEMBOLLER ..... **xvii**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xix**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xxiii**
ÖZET ..... **xxix**
SUMMARY ..... **xxxi**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Çalışmanın Amacı ve Hipotez 3
1.2 Çalışmanın Kapsamı ve Yöntem 4
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI **9**
2.1 Kireçtaşı Kalsine Kil Harcı (LC^3) 9
2.1.1 Kireçtaşı kalsine kil (LC^3) bağlayıcısı ile üretilmiş harcın kür koşulları, priz süreci ve katılaşma 15
2.1.2 Barit agregası 21
2.1.3 Atık kauçuk lastik agregası 23
2.2 Sesin Tanımı ve Ses Yalıtımı ile İlgili Literatür Araştırması 27
2.2.1 Sesin tanımı ve hava doğuşlu ses yalıtımı 27
2.2.1.1 Ses yalıtımının ölçülmesi ve ilgili standartlar 40
2.2.1.2 Ses iletim kaybı değerinin tek sayılı değerlere çevrilmesi 44
2.2.2 Malzemenin ses iletim kaybının iyileştirilmesine ilişkin literatür araştırması 46
2.2.2.1 Agrega türü ve boyutunun ses iletim kaybı/yutuculuk üzerindeki etkisi 46
2.2.2.2 Porozitenin (Açık gözeneklilik, kapalı gözeneklilik, gözenek boyutu ve dolambaçlılık) ses iletim kaybı/yutuculuk üzerindeki etkisi 48
2.2.2.3 Kalınlığın ses iletim kaybı/yutuculuk üzerindeki etkisi 50
2.2.2.4 Rijitliğin ses iletim kaybı /yutuculuk üzerindeki etkisi 51
2.2.2.5 Liflerin ses iletim kaybı /yutuculuğu üzerindeki etkisi 51
2.3 Bölüm Sonucu 51
3. MALZEME VE YÖNTEM **53**
3.1 Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzemeler ve Özelikleri 55
3.1.1 LC^3 bağlayıcısı ve üretiminde yer alan malzemeler 58
3.1.1.1 Çimento 58
3.1.1.2 Metakaolen 59
3.1.1.3 Kireç taşı tozu 64
3.1.2 Agregalar 66
3.1.2.1 Barit agregası 66
3.1.2.2 Atık kauçuk agregası 68
3.1.2.3 Dere kumu agregası 70

3.2 Deneysel Yöntem 72
3.2.1 Fiziksel özeliklerin belirlenmesi için yapılan deneyler 72
3.2.1.1 Özgül ağırlık deneyi 73
3.2.1.2 Birim hacim kütle deneyi 73
3.2.1.3 Su emme deneyi 73
3.2.1.4 Kompasite (doluluk) ve porozite (boşluk) deneyi 75
3.2.1.5 Ultrases hızı ve elastiklik modülü tayini deneyleri 75
3.2.2 Mekanik özeliklerin belirlenmesi için yapılan deneyler 77
3.2.2.1 Eğilmede çekme dayanımı deneyi 77
3.2.2.2 Basınç dayanımı deneyi 78
3.2.3 Akustik Özeliklerin Belirlenmesi için Yapılan Deneyler 78
3.2.3.1 Empedans tüpü deneyleri 78
3.2.3.2 INSUL simülasyon deneyleri 81
4. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARININ AMAÇLANAN LC^3 ESASLI STL DEĞERİ YÜKSEK MALZEME ÜRETİMİ AÇISINDAN İRDELENMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ 83
4.1 LC^3 Çimentosu Esaslı Harçların Fiziksel ve Mekanik Deney Sonuçlarının İrdelenmesi ve Değerlendirilmesi 85
4.1.1 LC^3 ve Portland Çimentosu (PC) harcının fiziksel ve mekanik özelikler üzerindeki etkisi 85
4.1.2 Agrega dane boyutunun ve cinsinin LC^3 harcının fiziksel ve mekanik özelikleri üzerindeki etkisi 87
4.1.2.1 Agrega dane boyutunun LC^3 harcının fiziksel ve mekanik özelikleri üzerindeki etkisi 87
4.1.2.2 Agrega cinsinin LC^3 harcının fiziksel ve mekanik özelikleri üzerindeki etkisi 89
4.1.3 Agrega/bağlayıcı oranının barit ve kauçuk agregalı (2B1R ve 2R1B) LC^3 harcının fiziksel ve mekanik özelikleri üzerindeki etkisi 94
4.2 LC^3 Çimentosu Esaslı Harçların Akustik Deney Sonuçlarının İrdelenmesi ve Değerlendirilmesi 96
4.2.1 Ağırlıklı ses azaltım indeksi (R_w) değerinin doğruluğunun INSUL programıyla kontrolü 99
4.2.2. LC^3 ve Portland Çimentosu (PC) harcının ses iletim kaybı üzerindeki etkisi 101
4.2.3 Agrega dane boyutunun ve cinsinin LC^3 harcının ses iletim kaybı üzerindeki etkisi 111
4.2.3.1 Agrega dane boyutunun LC^3 harcının ses iletim kaybı üzerindeki etkisi 111
4.2.3.2 Agrega cinsinin LC^3 harcının ses iletim kaybı üzerindeki etkisi 120
4.2.4 Agrega/bağlayıcı oranının barit ve kauçuk agregalı (2B1R ve 2R1B) LC^3 harcının ses iletim kaybı üzerindeki etkisi 152
4.2.4.1 2 hacim barit 1 hacim kauçuk agregalı harcın (2B1R) etkisi 152
4.2.4.2 2 hacim kauçuk 1 hacim barit agregalı harcın (2R1B) etkisi 162
4.3 INSUL Programı Simülasyon Sonuçları ve Empedans Tüpü Sonuçları Arasındaki İlişkinin Kurulması 172
4.3.1 Analiz özeti 172
4.4 Yapı Fiziği – Fiziksel Çevre Denetimi Açısından Malzemenin Yapıda Kullanım Olanakları Üzerine Değerlendirme 191
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 193
KAYNAKLAR 197

EKLER **207**
ÖZGEÇMİŞ **301**

KISALTMALAR

ABD : Amerika Birleşik Devletleri
ASTM : The American Society for Testing and Materials
BS : British Standard
C-A-S-H : Kalsiyum Alüminat Hidrat
CH : Portlandit
C-S-H : Kalsiyum Silikat Hidrat
C_3A : Trikalsiyum Aluminat
C_3S : Trikalsiyum Silikat-Alit
EN : Europeane Norm
ISO : International Organization for Standardization
LC^3 : Limestone Calcined Clay Cement (Kireçtaşı Kalsine Kil Çimentosu)
MIP : Mercury Intrusion Porosimetry (Cıva İntrüzyon Porozimetresi)
MTA : Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
NIT : Normal Incidence Technique
OPC : Ordinary Portland Cement
PC : Portland Cement (Portland Çimentosu)
PPC : Portland Pozzolana Cement
SCM : Supplementary Cementitious Materials (Çimento İkame Malzemesi)
STC : Sound Transmission Class (Ses İletim Sınıfı)
SEM : Scanning Electron Microscopy
STL : Sound Transmission Loss (Ses İletim Kaybı)
SRI : Sound Reduction Index
TSE : Türk Standartları Enstitüsü
XRD : X-Işınları Difraktometresi, Kalitatif Faz Analizi
XRF : X-Işını Floresan Spektrometre, Yarı Kantitatif Element Analizi

SEMBOLLER

A : Alıcı odanın yutuculuk katsayısı

A : Suya batırılmış yüzeyin alanı

a : Panel boyutu

b : Prizma şekilli numunenin kare kesitinin kenar uzunluğu

c : Havadaki sesi hızı

$\mathbf{c_1}$: Panelin etrafındaki havanın hızı

$\mathbf{c_L}$: Boylamsal ses dalgalarının hızı

C : Pembe gürültü spektrum adaptasyon eğrisi

$\boldsymbol{C_{tr}}$: Trafik gürültüsü spektrum adaptasyon eğrisi

d : Numunenin birim hacim ağırlığı

D : Çap

E' : Özgül elastiklik modülü

E : Elastiklik Modülü

$\mathbf{F_f}$: Prizma şekilli numunenin kırıldığı anda ortasına uygulanan yük

$\mathbf{F_c}$: Kırılma anındaki en büyük yük

f : Sesin frekansı

$\mathbf{f_c}$: Kritik frekans

$\boldsymbol{f_{11}}$: Rezonans frekansı

g : Yerçekimi ivmesi

h : Kalınlık

k : Kompasite

K : Eğilme sertliği

$\mathbf{K_s}$: Rijitlik katsayısına bağlı değer

L : Sesin geçtiği numune boyu

$\mathbf{L_{pi}}$: Kaynak odadaki ortalama ses basıncı seviyesi

$\mathbf{L_{Ii}}$: Gelen ses yoğunluğu seviyesi

$\mathbf{L_{It}}$: İletilen ses yoğunluğu seviyesi

l : Mesnet silindirleri arasındaki mesafe

m : Malzeme kütlesi

$\mathbf{m_d}$: Kuru deney numunesinin kütlesi

$\mathbf{m_i}$: Deney esnasında deney numunesinin ardışık kütleleri

$\mathbf{m_s}$: Yüzey alanı başına düşen kütle

N : Kapilarite katsayısı

p : Porozite

R : Ses azaltma indeksi (Sound Reduction Index)

$\mathbf{R_c}$: Basınç dayanımı

$\mathbf{R_f}$: Eğilmede çekme dayanımı

$\mathbf{R_w}$: Ağırlıklı Ses Azaltma İndeksi (Weighted Sound Reduction Index)

t : Malzemenin kalınlığı

t : Süre

V : Ultrases hızı

$\boldsymbol{\sigma}$: Poisson oranı

$\boldsymbol{\rho}$: Malzemenin yoğunluğu

$\boldsymbol{\rho_w}$: Panelin yoğunluğu

$\boldsymbol{\rho_1}$: Havadaki ses yoğunluğu

$\boldsymbol{\eta}$: Kayıp faktörü

$\boldsymbol{\alpha}$: Ses gücü iletim katsayısı

$\boldsymbol{\lambda}$: Sesin dalga boyu

$\boldsymbol{\tau}$: Ses azaltım katsayısı

$\boldsymbol{\omega}$: Açısal frekans

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: LC^3 bağlayıcısının harçların özelikleri üzerindeki etkileri..... **20**
Çizelge 2.2: Türkiye barit rezervi. **21**
Çizelge 2.3: Agregaların fiziksel özelikleri **24**
Çizelge 2.4: Bazı yapı malzemelerinin fiziksel ve mekanik özelikleri **34**
Çizelge 2.5: Bazı genel yapı malzemelerinin kritik frekansının (f_c) hesaplanması için, m_s: yüzey kütlesi, A: 1 mm kalınlık için sabit **38**
Çizelge 2.6: Kalınlığa bağlı farklı malzemelere ait kritik frekans değerleri **39**
Çizelge 2.7: TS 12354-1 Standart Ek-B'de verilen frekanslar bazında hesaplanmış R_w değerleri **39**
Çizelge 2.8: Düşük, orta ve yüksek frekanslarda STL değeri üzerinde etkili malzeme özelikleri. **40**
Çizelge 2.9: Pratikte numunelerin akustik özeliklerini ölçmek için kullanılan dört yaygın yöntemin karşılaştırması **43**
Çizelge 2.10: Avrupa' da yapı elemanlarının hava doğuşlu ses yalıtımı göstergeleri **44**
Çizelge 3.1: Malzemelere ait yarı kantitatif element analizi (XRF). **54**
Çizelge 3.2: Deney numuneleri ve ait oldukları karışım kodları. **57**
Çizelge 3.3: Deneylerde belirlenen malzeme ve hacimce karışım oranları..... **57**
Çizelge 3.4: Ses iletim kaybı ölçümleri için hazırlanan numuneler. **58**
Çizelge 3.5: Metakaolen özgül ağrılık hesabı..... **60**
Çizelge 3.6: Puzolanik aktivite deneyi için karışım miktarı..... **61**
Çizelge 3.7: Sönmüş kirecin özgül ağrılık hesabı. **61**
Çizelge 3.8: Puzolanik aktivite deneyi için hesaplanan karışım miktarları. **62**
Çizelge 3.9: Numunelerin eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı deney sonuçları. **63**
Çizelge 3.10: Puzolanik aktivite deneyi sonuçları. **64**
Çizelge 3.11: Kireç taşının özgül ağrılık hesabı. **65**
Çizelge 3.12: Baritin özgül ağırlık hesabı. **67**
Çizelge 3.13: Kauçuğun özgül ağırlık hesabı. **69**
Çizelge 3.14: Dere kumunun özgül ağırlık hesabı..... **71**
Çizelge 4.1: Fiziksel ve mekanik deney sonuçları..... **84**
Çizelge 4.2: Bazı yapı malzemelerinin birim hacim ağırlık ve özgül ağırlıkları ile su emme değerleri **85**
Çizelge 4.3: Karakteristik değerlerle verilen mekanik ve fiziksel özelikler..... **87**
Çizelge 4.4: Barit agregasının tane boyutuna bağlı fiziksel özelikleri **91**
Çizelge 4.5: Kayaç, çimento hamuru ve harç numunelerinin (40mm x 40 mm x 160mm) eğilme ve basınç dayanımları **91**
Çizelge 4.6: Empedans tüpü ses iletim kaybı deneyi sonuçları. **97**
Çizelge 4.7: Sonuçların (R değerinin) tek bir sayıya (R_w değerine) dönüştürülmüş değeri, rezonans frekansları (f_{11}) ve kritik frekanslar (f_c). **98**

Çizelge 4.8: Empedans tüpü sonuçlarının INSUL programına girilerek elde edilen R_w değerleri. **100**
Çizelge 4.9: Farklı kalınlıktaki numunelere (60-90-120 mm) ait kütle, birim yüzey kütlesi, rezonans frekansı f_{11}(Hz) ve kritik frekans f_c (Hz) verileri. ... **101**
Çizelge 4.10: Farklı kalınlıktaki numunelere ait (60-90-120 mm) kütle, birim yüzey kütlesi, rezonans frekansı f_{11} (Hz) ve kritik frekans f_c (Hz) verileri. . **111**
Çizelge 4.11: Farklı kalınlıktaki numunelere (60-90-120 mm) ait kütle, birim yüzey kütlesi, rezonans frekansı f_{11} (Hz) ve kritik frekans f_c (Hz) verileri.. **120**
Çizelge 4.12: Farklı kalınlıktaki numunelere (60-90-120 mm) ait kütle, birim yüzey kütlesi, rezonans frekans f_{11} (Hz) ve kritik frekans f_c (Hz) verileri. .. **152**
Çizelge 4.13: Farklı kalınlıktaki numunelere (60-90-120 mm) ait kütle, birim yüzey kütlesi, rezonans frekansı f_{11} (Hz) ve kritik frekans f_c (Hz) verileri.. **162**
Çizelge 4.14: Numune kalınlıklarına bağlı frekanslar için normallik varsayımı analizi..... **173**
Çizelge 4.15: Normallik varsayımı analizi (Empedans tüpü için). **173**
Çizelge 4.16: Normallik varsayımı analizi (INSUL simülasyon programı için). **174**
Çizelge 4.17: Bilgiler çizelgesi. **174**
Çizelge 4.18: Ölçüm türü değişkeni Mann-Whitney U test çizelgesi. **175**
Çizelge 4.19: Kalınlık değişkeni Kruskal Wallis-H analizi. **176**
Çizelge 4.20: Kalınlık değişkeni Kruskal Wallis-H analizi. **176**
Çizelge 4.21: Empedans tüpü için kalınlık değişkeni Kruskal Wallis-H analizi. **177**
Çizelge 4.22: Empedans için kalınlık değişkeni Kruskal Wallis-H analizi **179**
Çizelge 4.23: INSUL programı için kalınlık değişkeni Kruskal Wallis-H analizi. . **179**
Çizelge 4.24: INSUL programı için kalınlık değişkeni Kruskal Wallis-H analizi. . **181**
Çizelge 4.25: Empedans tüpü ve INSUL frekansları korelasyon analizi. **183**
Çizelge 4.26: Empedans tüpü korelasyon analizi. **185**
Çizelge 4.27: INSUL korelasyon analizi. **187**
Çizelge 4.28: Empedans tüpü ile INSUL korelasyon analizi. **189**
Çizelge 4.29: Empedans tüpü frekans değerleri ile Insul frekans değerleri arasındaki ilişki **190**
Çizelge A.1: Numunelere ait kapiler su emme deney sonuçları. **208**
Çizelge A.2: Numunelere ait su emme deney sonuçları. **218**
Çizelge A.3: Numunelere ait kompasite ve porozite deney sonuçları. **219**
Çizelge A.4: Numunelere ait elastiklik modülü deney sonuçları. **221**
Çizelge A.5: Numunelere ait eğilmede çekme ve basınç dayanımı deney sonuçları. **222**
Çizelge B.1: PC-S2-2.75 (60 mm)..... **239**
Çizelge B.2: PC-S2-2.75 (90 mm)..... **241**
Çizelge B.3: PC-S2-2.75 (120 mm)..... **242**
Çizelge B.4: LC-S2-2.75 (60 mm)..... **244**
Çizelge B.5: LC-S2-2.75 (90 mm)..... **245**
Çizelge B.6: LC-S2-2.75 (120 mm)..... **247**
Çizelge B.7: LC-S8-2.75 (60 mm)..... **248**
Çizelge B.8: LC-S8-2.75 (90 mm)..... **250**
Çizelge B.9: LC-S8-2.75 (120 mm)..... **251**
Çizelge B.10: LC-B8-2.75 (60 mm) **253**
Çizelge B.11: LC-B8-2.75 (90 mm) **254**
Çizelge B.12: LC-B8-2.75 (120 mm) **256**
Çizelge B.13: LC-R8-2.75 (60 mm) **257**
Çizelge B.14: LC-R8-2.75 (90 mm) **259**

Çizelge B.15: LC-R8-2.75 (120 mm) **260**
Çizelge B.16: LC-2B1R8-2.75 (60 mm) **262**
Çizelge B.17: LC-2B1R8-2.75 (90 mm) **263**
Çizelge B.18: LC-2B1R8-2.75 (120 mm) **265**
Çizelge B.19: LC-2R1B8-2.75 (60 mm) **266**
Çizelge B.20: LC-2R1B8-2.75 (90 mm) **268**
Çizelge B.21: LC-2R1B8-2.75(120 mm) **269**
Çizelge B.22: LC-2B1R8-2 (60 mm) **271**
Çizelge B.23: LC-2B1R8-2 (90 mm) **272**
Çizelge B.24: LC-2B1R8-2 (120 mm) **274**
Çizelge B.25: LC-2B1R8-3.5 (60 mm) **275**
Çizelge B.26: LC-2B1R8-3.50 (90 mm) **277**
Çizelge B.27: LC-2B1R8-3.50 (120 mm) **278**
Çizelge B.28: LC-2R1B8-2 (60 mm) **280**
Çizelge B.29: LC-2R1B8-2 (90 mm) **281**
Çizelge B.30: LC-2R1B8-2 (120 mm) **283**
Çizelge B.31: LC-2R1B8-3.5 (60 mm) **284**
Çizelge B.32: LC-2R1B8-3.5 (90 mm) **286**
Çizelge B.33: LC-2R1B8-3.5 (120 mm) **287**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Tez akış şeması. **8**
Şekil 2.1: Çimento/beton üretiminde karbon döngüsü **11**
Şekil 2.2: LC^3 reaksiyon mekanizması. **15**
Şekil 2.3: Cıva porozimetresi ile elde edilen 28 günlük gözenek çapının bir fonksiyonu olarak açık gözeneklilik **17**
Şekil 2.4: Karbonatlaşmamış ve hızlandırılmış karbonatlaşma sonucunda OPC (Standart Portland Çimentosu), PPC (Puzolanlı Portland Çimentosu) ve LC^3 harcından üretilen numunelerin MIP (Mercury Intrusion Porosimetry) sonuçları **18**
Şekil 2.5: Kauçuk tozunun ön işlem aşamaları **24**
Şekil 2.6: Malzeme veya nesne yüzeyi ile ses dalgası etkileşimi **28**
Şekil 2.7: Homojen bir duvar veya panel için ses iletim kaybının frekansa bağlı genel ses azaltım indisi değişimi **31**
Şekil 2.8: Dört mikrofonlu aktarım matrisi yönteminin şematik ifadesi. **42**
Şekil 2.9: Geleneksel iki odalı yöntemin şematik ifadesi **42**
Şekil 2.10: Açık ve kapalı gözenekler, iki farklı davranış **48**
Şekil 3.1: Portland çimentosu XRD analizi. **59**
Şekil 3.2: Metakaolenin etüvde kurutulması. **60**
Şekil 3.3: Puzolanik aktivite deneyi için harcın kalıplara yerleştirilmesi. **62**
Şekil 3.4: Numunelerin eğilmede çekme dayanımı deneyine tabi tutulması. **63**
Şekil 3.5: Eğilmede çekme deneyinde kırılan numuneler. **64**
Şekil 3.6: Kireç taşı tozu XRD analizi **65**
Şekil 3.7: Deneysel çalışmada kullanılan metakolen, kireçtaşı tozu ve Portland çimentosuna ait dane boyutu dağılımı. **66**
Şekil 3.8: İnce daneli barit numunesi. **67**
Şekil 3.9: İri daneli barit numunesi **68**
Şekil 3.10: Kauçuğun suda çökmediğini gösteren görsel. **69**
Şekil 3.11: Kauçuğun gaz yağında çöktüğünü gösteren görsel. **69**
Şekil 3.12: Dere kumunun etüvde kurutulması. **70**
Şekil 3.13: Dere kumu XRD analizi. **71**
Şekil 3.14: Maksimum dane boyutu 2 mm olan dere kumuna ait dane büyüklüğü dağılımı **72**
Şekil 3.15: Maksimum dane boyutu 8 mm olan agregalara ait dane büyüklüğü dağılımı **72**
Şekil 3.16: Normal oranlama (NIT) tekniğinde kullanılan empedans tüpü örneği. **81**
Şekil 4.1: PC ve LC^3 bağlayıcıları ile oluşturulmuş numunelere ait fiziksel deney sonuçları **86**
Şekil 4.2: PC ve LC^3 bağlayıcıları ile oluşturulmuş numunelere ait mekanik deney sonuçları **87**
Şekil 4.3: 2 mm ve 8 mm dere kumu ile oluşturulmuş numunelere ait fiziksel deney sonuçları **88**

Şekil 4.4: 2 mm ve 8 mm dere kumu ile oluşturulmuş numunelere ait mekanik deney sonuçları. **89**
Şekil 4.5: 8 mm agregalar ile oluşturulmuş numunelere ait fiziksel deney sonuçları **89**
Şekil 4.6: 8 mm agregalar ile oluşturulmuş numunelere ait mekanik deney sonuçları **90**
Şekil 4.7: Barit ve kauçuk agregalı numunelerin (2B1R8) fiziksel deney sonuçlarının karşılaştırılması. **94**
Şekil 4.8: Barit ve kauçuk agregalı numunelerin (2B1R8) mekanik deney sonuçlarının karşılaştırılması. **95**
Şekil 4.9: Barit ve kauçuk agregalı numunelerin (2R1B8) fiziksel deney sonuçlarının karşılaştırılması. **95**
Şekil 4.10: Barit ve kauçuk agregalı numunelerin (2R1B8) mekanik deney sonuçlarının karşılaştırılması. **96**
Şekil 4.11: Farklı bağlayıcı türleriyle (LC^3 ve Portland Çimentosu) oluşturulmuş numunelerin basınç dayanımı ve kalınlığa bağlı ağırlıklı ses azaltım indeksleri. **101**
Şekil 4.12: PC ve LC^3 numunelerinin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları (60 mm). **103**
Şekil 4.13: PC ve LC^3 numunelerinin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları (90 mm). **105**
Şekil 4.14: PC ve LC^3 numunelerinin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları (120 mm). **107**
Şekil 4.15: Farklı kalınlıklarda (60-90-120 mm) PC numunelerinin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları. **109**
Şekil 4.16: Farklı kalınlıklarda (60-90-120 mm) LC^3 numunelerinin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları. **110**
Şekil 4.17: Farklı agrega dane boyutlarıyla (2mm ve 8 mm) oluşturulmuş LC^3 numunelerinin basınç dayanımı ve kalınlığa bağlı ağırlıklı ses azaltım indeksleri. **112**
Şekil 4.18: 2 mm ve 8 mm dere kumu agregalarıyla hazırlanmış numunelerin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları (60 mm). **113**
Şekil 4.19: 2 mm ve 8 mm dere kumu agregalarıyla hazırlanmış numunelerin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları (90 mm). **115**
Şekil 4.20: 2 mm ve 8 mm dere kumu agregalarıyla hazırlanmış numunelerin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları (120 mm). **117**
Şekil 4.21: Farklı kalınlıklarda (60-90-120 mm) 8 mm'lik dere kumu agregalarıyla hazırlanmış numunelerin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları. **119**
Şekil 4.22: Kum, barit, kauçuk ve barit-kauçuk agregalarıyla oluşturulmuş numunelerin basınç dayanımı ve kalınlığa bağlı ağırlıklı ses azaltım indeksleri. **120**
Şekil 4.23: Dere kumu ve barit agregalarıyla hazırlanmış numunelerin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları (60 mm).... **122**
Şekil 4.24: Dere kumu ve barit agregalarıyla hazırlanmış numunelerin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları (90 mm).... **124**

Şekil 4.25: Dere kumu ve barit agregalarıyla hazırlanmış numunelerin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları (120 mm). **126**
Şekil 4.26: Farklı kalınlıklarda (60-90-120 mm) barit agregasıyla hazırlanmış numunelerin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları. **128**
Şekil 4.27: Dere kumu ve kauçuk agregalarıyla hazırlanmış numunelerin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları (60 mm). .. **130**
Şekil 4.28: Dere kumu ve kauçuk agregalarıyla hazırlanmış numunelerin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları (90 mm). .. **132**
Şekil 4.29: Dere kumu ve kauçuk agregalarıyla hazırlanmış numunelerin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları (120 mm). **134**
Şekil 4.30: Farklı kalınlıklarda (60-90-120 mm) kauçuk agregasıyla hazırlanmış numunelerin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları. **136**
Şekil 4.31: Barit agregasıyla ve barit ve kauçuk agregalarıyla hazırlanmış numunelerin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları (60 mm). **138**
Şekil 4.32: Barit agregasıyla ve barit ve kauçuk agregalarıyla hazırlanmış numunelerin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları (90 mm). **140**
Şekil 4.33: Barit agregasıyla ve barit ve kauçuk agregalarıyla hazırlanmış numunelerin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları (120 mm). **142**
Şekil 4.34: Farklı kalınlıklarda (60-90-120 mm) iki hacim barit bir hacim kauçuk agregalarıyla hazırlanmış numunelerin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları. **144**
Şekil 4.35: Farklı kalınlıklarda (60-90-120 mm) iki hacim kauçuk bir hacim barit agregalarıyla hazırlanmış numunelerin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları. **145**
Şekil 4.36: Kauçuk agregasıyla ve barit ve kauçuk agregalarıyla hazırlanmış numunelerin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları (60 mm). **147**
Şekil 4.37: Kauçuk agregasıyla ve barit ve kauçuk agregalarıyla hazırlanmış numunelerin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları (90 mm). **149**
Şekil 4.38: Kauçuk agregasıyla ve barit ve kauçuk agregalarıyla hazırlanmış numunelerin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları (120 mm). **151**
Şekil 4.39: Farklı agrega/bağlayıcı oranlarıyla oluşturulmuş, 2B1R8 LC^3 bağlayıcılı numunelerin basınç dayanımı ve kalınlığa bağlı ağırlıklı ses azaltma indeksleri. **153**
Şekil 4.40: İki hacim barit agregalı ve bir hacim kauçuk agregalı (2B1R) numunelerin agrega/bağlayıcı oranının artması ve azalmasına bağlı 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları (60 mm). **154**
Şekil 4.41: İki hacim barit agregalı ve bir hacim kauçuk agregalı (2B1R) numunelerin agrega/bağlayıcı oranının artması ve azalmasına bağlı 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları (90 mm). **156**

Şekil 4.42: İki hacim barit agregalı ve bir hacim kauçuk agregalı (2B1R8) numunelerin agrega/bağlayıcı oranının artması ve azalmasına bağlı 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları (120 mm). **158**
Şekil 4.43: Farklı kalınlıklarda (60-90-120 mm) iki hacim barit agregalı ve bir hacim kauçuk agregalı (2B1R8-2) numunelerin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları. **160**
Şekil 4.44: Farklı kalınlıklarda (60-90-120 mm) iki hacim barit agregalı ve bir hacim kauçuk agregalı (2B1R8-3.5) numunelerin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları. **161**
Şekil 4.45: Farklı agrega/bağlayıcı oranlarıyla oluşturulmuş, 2R1B8 LC^3 bağlayıcılı numunelerin basınç dayanımı ve kalınlığa bağlı ağırlıklı ses azaltma indeksleri. **162**
Şekil 4.46: İki hacim kauçuk agregalı ve bir hacim barit agregalı (2R1B) numunelerin agrega/bağlayıcı oranının artması ve azalmasına bağlı 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları..... **164**
Şekil 4.47: İki hacim kauçuk agregalı ve bir hacim barit agregalı (2R1B) numunelerin agrega/bağlayıcı oranının artması ve azalmasına bağlı 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları (90 mm) **166**
Şekil 4.48: İki hacim kauçuk agregalı ve bir hacim barit agregalı (2R1B) numunelerin agrega/bağlayıcı oranının artması ve azalmasına bağlı 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları (120 mm) **168**
Şekil 4.49: Farklı kalınlıklarda (60-90-120 mm) iki hacim kauçuk agregalı ve bir hacim barit agregalı (2R1B8-2) numunelerin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları. **170**
Şekil 4.50: Farklı kalınlıklarda (60-90-120 mm) iki hacim kauçuk agregalı ve bir hacim barit agregalı (2R1B8-3.5) numunelerin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları. **171**
Şekil B.1: PC-S2-2.75 (60 mm)..... **224**
Şekil B.2: PC-S2-2.75 (90 mm)..... **224**
Şekil B.3: PC-S2-2.75 (120 mm)..... **225**
Şekil B.4: LC-S2-2.75 (60 mm)..... **225**
Şekil B.5: LC-S2-2.75 (90 mm)..... **226**
Şekil B.6: LC-S2-2.75 (120 mm)..... **226**
Şekil B.7: LC-S8-2.75 (60 mm)..... **227**
Şekil B.8: LC-S8-2.75 (90 mm)..... **227**
Şekil B.9: LC-S8-2.75 (120 mm)..... **228**
Şekil B.10: LC-B8-2.75 (60 mm) **228**
Şekil B.11: LC-B8-2.75 (90 mm) **229**
Şekil B.12: LC-B8-2.75 (120 mm) **229**
Şekil B.13: LC-R8-2.75 (60 mm) **230**
Şekil B.14: LC-R8-2.75 (90 mm) **230**
Şekil B.15: LC-R8-2.75 (120 mm) **231**
Şekil B.16: LC-2B1R8-2.75 (60 mm) **231**
Şekil B.17: LC-2B1R8-2.75 (90 mm) **232**
Şekil B.18: LC-2B1R8-2.75 (120 mm) **232**
Şekil B.19: LC-2R1B8-2.75 (60 mm) **233**
Şekil B.20: LC-2R1B8-2.75 (90 mm) **233**

Şekil B.21: LC-2R1B8-2.75 (120 mm) **234**
Şekil B.22: LC-2B1R8-2 (60 mm) **234**
Şekil B.23: LC-2B1R8-2 (90 mm) **234**
Şekil B.24: LC-2B1R8-2 (120 mm) **235**
Şekil B.25: LC-2R1B8-2 (60 mm) **235**
Şekil B.26: LC-2R1B8-2 (90 mm) **235**
Şekil B.27: LC-2R1B8-2 (120 mm) **236**
Şekil B.28: LC-2B1R8-3.5 (60 mm) **236**
Şekil B.29: LC-2B1R8-3.5 (90 mm) **236**
Şekil B.30: LC-2B1R8-3.5 (120 mm) **237**
Şekil B.31: LC-2R1B8-3.5 (60 mm) **237**
Şekil B.32: LC-2R1B8-3.5 (90 mm) **237**
Şekil B.33: LC-2R1B8-3.5 (120 mm) **238**
Şekil B.34: PC-S2-2.75 (60 mm)..... **240**
Şekil B.35: PC-S2-2.75 (90 mm)..... **240**
Şekil B.36: PC-S2-2.75 (120 mm)..... **243**
Şekil B.37: LC-S2-2.75 (60 mm) **243**
Şekil B.38: LC-S2-2.75 (90 mm) **246**
Şekil B.39: LC-S2-2.75 (120 mm) **246**
Şekil B.40: LC-S8-2.75 (60 mm) **249**
Şekil B.41: LC-S8-2.75 (90 mm) **249**
Şekil B.42: LC-S8-2.75 (120 mm) **252**
Şekil B 43: LC-B8-2.75 (60 mm)..... **252**
Şekil B.44: LC-B8-2.75 (90 mm)..... **255**
Şekil B.45: LC-B8-2.75 (120 mm)..... **255**
Şekil B.46: LC-R8-2.75 (60 mm)..... **258**
Şekil B.47: LC-R8-2.75 (90 mm)..... **258**
Şekil B.48: LC-R8-2.75 (120 mm)..... **261**
Şekil B.49: LC-2B1R8-2.75 (60 mm) **261**
Şekil B.50: LC-2B1R8-2.75 (90 mm) **264**
Şekil B.51: LC-2B1R8-2.75 (120 mm) **264**
Şekil B.52: LC-2R1B8-2.75 (60 mm) **267**
Şekil B.53: LC-2R1B8-2.75 (90 mm) **267**
Şekil B.54: LC-2R1B8-2.75(120 mm) **270**
Şekil B.55: LC-2B1R8-2 (60 mm) **270**
Şekil B.56: LC-2B1R8-2 (90 mm) **273**
Şekil B.57: LC-2B1R8-2 (120 mm) **273**
Şekil B.58: LC-2B1R8-3.5 (60 mm) **276**
Şekil B.59: LC-2B1R8-3.50 (90 mm) **276**
Şekil B.60: LC-2B1R8-3.50 (120 mm) **279**
Şekil B.61: LC-2R1B8-2 (60 mm) **279**
Şekil B.62: LC-2R1B8-2 (90 mm) **282**
Şekil B.63: LC-2R1B8-2 (120 mm) **282**
Şekil B.64: LC-2R1B8-3.5 (60 mm) **285**
Şekil B.65: LC-2R1B8-3.5 (90 mm) **285**
Şekil B.66: LC-2R1B8-3.5 (120 mm) **288**
Şekil C.1: Taze harç deneyleri..... **289**
Şekil C.2: Kapiler su emme tayini..... **291**
Şekil C.3: Atmosfer basıncı altında su emme deneyi..... **292**
Şekil C.4: Ultrases hızı deneyi. **293**

Şekil C.5: Numunelerin kürlenmesi. **294**
Şekil C.6: Özgül ağırlık deneyi. **295**
Şekil C.7: Basınç dayanımı deneyi. **296**
Şekil C.8: Eğilme dayanımı deneyi. **297**

BARİT VE ATIK KAUÇUK AGREGALI KİREÇTAŞI-KALSİNE KİL-ÇİMENTOLU (LC^3) MALZEMENİN SES İLETİM KAYBI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

ÖZET

Günümüzde gürültü problemi, günlük hayat konforumuzu sağlamada önemli bir engel oluşturmaktadır. Gürültü probleminin ortaya çıkmasındaki en önemli nedenlerden biri bölücü elemanda uygun malzeme seçiminin yapılamaması veya yeterince önemsenmemesidir. Malzeme seçimi iç mekan akustik kalitesinin belirlenmesinde hayati bir rol oynar. İnsanlar zamanlarının büyük bir kısmını kapalı mekanlarda geçirdikleri için iç mekan koşullarının kullanıcıların sağlığı ve akustik konforu üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Belirli bir süre boyunca aşırı gürültüye maruz kalınması insan sağlığına önemli ölçüde zarar verebilir. Ayrıca sonradan gürültü önemlerinin alındığı mekanlarda doğru malzeme seçimi ve bölücü duvar tasarımı hali hazırda yapı kullanımdayken uygulama sorunlarını da beraberinde getirmektedir. İnşaat sektörü, dünya kaynaklarının en büyük tüketicilerinden ve çevreye en büyük zararı veren sektörlerden biridir. Bu nedenle sektör, çevre politikaları konusunda birçok sorunla yüzleşmek zorunda kalmakta ve sürdürülebilir kalkınma konusunda ciddi adımlar atmak durumundadır. Çevreye duyarlı inşaat sektörü hedefinin oluşturulmasında ekolojik yapı malzemelerinin kullanılması esastır. Yapılarda kullanılan bölücü elemanın kesitini artırmadan yeni bir ekolojik çimentolu harç tasarımı gerçekleştirebilme yaklaşımının oluşturulması çalışma kapsamında amaçlanmaktadır. Bu bağlamda bu çalışma, bir binada ses iletimine bağlı akustik konfor koşullarını sağlamak için kompozit tek katmanlı bir eleman geliştirmeyi araştırmaktadır. Çalışmanın amacı, LC^3 (Kireçtaşı Kalsine Kil Çimentoları) ekolojik bağlayıcısı, barit ve kauçuk agregalarıyla üretilen harçların ses iletim kaybını (Sound Transmission Loss), Portland Çimentosu bağlayıcısı ve dere kumu agregalarıyla oluşturulmuş harçlara göre artırmaktır. Bu çalışmada, her harç karışımında kıvam ve hacimce agrega/bağlayıcı oranları sabit tutulmuş ve karşılaştırılmıştır. Harçlarda, ses yalıtımında etkili olan önemli parametrelerden biri olan ağırlığı sağlamak için dere kumu agregası yerine barit agregası, rijitliği kontrol etmek için ise atık kauçuk agregası kullanılmıştır. Birim hacim ağırlık, kapiler su emme, açık gözeneklilik, basınç ve eğilme dayanımlarını içeren deneysel analizler için 40x40x160 mm boyutunda numuneler, ses iletim kaybı ölçümleri için ise 60, 90 ve 120 mm kalınlığında, 28 mm ve 98 mm çaplarında silindirik numuneler üretilmiş, doktora tezine bağlı İTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Biriminin 42480 numaralı proje desteği ile empedans tüpü ölçümleri yapılmıştır. Deneysel çalışma sonucunda, LC^3 bağlayıcılı, hacimce 2 barit ve 1 atık kauçuk agregalı (LC-2B1R8) 90 mm kalınlığındaki numunenin ses yalıtımı için akustik malzeme olarak kullanılabileceği görülmüştür. Harcın ses yalıtım özeliklerini artırmak için barit ve kauçuk agrega karışımının kullanılması sadece yüksek frekanslarda değil düşük frekanslarda da oldukça etkilidir. Çalışma ayrıca harçların ağırlığını artırmanın malzemenin ses iletim kaybı özeliklerini her zaman artırmadığını göstermektedir. Empedans tüpüyle gerçekleştirilmiş deneysel

çalışmanın doğruluğu INSUL yazılım programı aracılığı ile kontrol edilmiştir. Her iki yöntem arasındaki ilişki test edilerek anlamlı sonuçlara ulaşılmıştır. Sonuç olarak, bu çalışmada ekolojik malzemeler kullanılarak yenilikçi bir malzeme tasarımı gerçekleştirilmiştir. Atık kauçuğun harç içinde agrega olarak kullanılması, kauçuk atığının bozunmayan doğası göz önüne alındığında, bertarafı ile ilgili çevresel zararları hafifletebilir. Geliştirilen ses iletim kaybı değeri yüksek ekolojik harcın ses yalıtımını sağlama gereksiniminin olduğu mekanlar için kullanılabilecek ve pozitif katkı sağlayabilecek bir malzeme olduğu çalışma kapsamında belirlenmiştir.

A RESEARCH ON SOUND TRANSMISSION LOSS OF LIMESTONE-CALCINED CLAY-CEMENT (LC^3) MATERIALS WITH BARITE AND WASTE RUBBER AGGREGATES

SUMMARY

Cement is an important material to meet global housing and modern infrastructure needs. However, the cement industry worldwide faces increasing challenges in conserving material and energy resources as well as reducing CO_2 emissions. Portland cement is produced by grinding together a mixture of approximately 80% limestone and 20% clay. It is then calcined and then burnt at temperatures around 1450°C. In cement, the reduction of clinker factor remains a key priority and significant progress has been made in this regard. Today, in many countries, various methods are sought to reduce the clinker rate in cement to reduce the carbon emissions that occur in cement production. Materials such as fly ash and slag have been shown to be effective in reducing clinker rates. In addition, a new low clinker, low carbon, and ternary blend cement has been developed based on the combination of clinker with calcined clay, limestone, and gypsum. The possibility of using calcined kaolinite clay and limestone in LC^3 (limestone calcined clay cements) composition gives quite good results in cement substitution. The main components of the LC^3 are 50% ground clinker, 30% calcined clay, 15% limestone, and 5% gypsum. According to the literature review, acoustical properties of the LC^3 binder have not been studied yet. Today, the noise problem is a substantial obstacle in providing our daily life comfort. Depending on the function of a space, numerous adjustments are made to create acoustically suitable physical environment conditions. In recent years, with the advancement of technology, there has been a tendency to avoid heaviness in building materials, which has provided flexibility in design but has also led to the emergence of certain issues. Particularly in the case of high-rise residential and office buildings, the use of thin-sectioned and lightweight materials is prevalent, aiming to reduce structural load and gain space efficiency. While thin-sectioned structural elements are perceived as advantageous in terms of cost, they have resulted in noise problems in buildings such as residential, office, and hospital structures. One of the most important reasons for the emergence of the noise problem is failure to choose the appropriate material in the dividing wall or not paying enough attention. The need for acoustical comfort is important for the noise disturbance of its users because the World Health Organization (WHO) states that residential buildings should have insulation that will allow sound pressure level up to 30–40 dB. The sound insulation ability of a material is measured by sound transmission loss (STL, an acoustic physical term), which can be defined as a ratio of the sound energy transmitted through a treatment versus the amount of sound energy on the incident side of the material. In literature, the sound transmission loss is defined as the ratio of the incident sound power and transmitted sound power in terms of decibel (dB). As the sound wave travels, differences in the rear surface and front surface of the material damp the sound wave and thus reduce the intensity of the transmitted sound power. Hence, sound transmission loss is also closely related to the

damping properties of the material. A larger value results in a larger amount of sound that can be attenuated. Depending on the frequency range, sound transmission loss (STL) properties of the materials can be divided into three different regions: (I) stiffness and resonance region, (II) mass region, and (III) coincidence region: (I) In the stiffness and resonance frequency region (generally below 315Hz), the STL is controlled by the stiffness of the material; damping and mass have little effect at low frequencies. At higher frequencies, the STL is controlled by the resonance frequency. At these frequencies, high displacement results in the transfer of large amounts of sound energy; (II) in the mass region (generally 315–1600 Hz), mass plays a significant role in acoustic insulation; (III) in the coincidence region (generally above 1600 Hz), to the wave phenomenon, very small deformations and bending of the waves can cause the coincidence effect. However, this phenomenon does not occur at the normal angle of incidence with an impedance tube. In this region STL is controlled by both stiffness and mass together. In this context, this study investigates developing a single-layer composite material and creating a new mortar design approach without increasing the cross-section of the dividing wall used in the buildings to provide acoustical comfort conditions due to sound transmission in a building. The aim of the study is to increase the sound transmission loss (STL) of mortars produced with LC^3 (Limestone Calcined Clay Cements) ecological binder, barite and rubber aggregates compared to Portland cement and river sand aggregate mortars. The flow and aggregate/binder ratios by volume in each mortar mixture were kept constant and compared. Instead of river sand aggregate, barite aggregate was used to provide weight, which is one of the most important parameters effective in sound insulation and waste rubber aggregate was used to control stiffness. Mortars were produced in 40x40x160 mm for experimental analyses that include unit weight, capillary of water absorption, open porosity and compressive and flexural strengths, while in 60, 90 and 120 mm thick cylindrical mortars were produced for sound transmission loss measurements. These measurements were held with the support of ITU Scientific Research Projects Unit, project ID 42480. As a result of the experimental study, it is revealed that mortar with LC^3 binder, 2-parts barite and 1-part waste rubber aggregate by volume (LC-2B1R8) can be used as an acoustical material for sound insulation. Using combined aggregates (barite and rubber) for increasing the sound insulation properties of the mortar is very effective not only in high frequencies but also in low frequencies. The study also shows that increasing the weight of the mortars does not always increase the sound insulation properties of the material. The accuracy of the experimental study carried out with the impedance tube was checked by the INSUL software program. Significant results were obtained by testing the relationship between both methods. As a result, this study demonstrates that through experiments conducted with the LC^3 ecological binder and barite-rubber aggregates, various alternatives have been developed, indicating the feasibility of producing a promising material for use as a partition wall in buildings. In this study, an innovative material design has been achieved through the use of ecological materials. Utilizing waste rubber as an aggregate in mortar can mitigate the environmental hazards associated with its disposal, considering the non-degradable nature of rubber waste. This proposed composition offers local, economical, and ecological benefits, allowing for single-layer application and enhanced sound transmission loss. However, it has been observed that some compositions exhibit similar or lower-than-expected performance in terms of soundproofing. Nevertheless, to achieve better sound transmission loss performance, further research could involve the development of the LC^3 ecological binder with different aggregate types, particle sizes, and thicknesses. Future

investigations should also focus on examining the fire resistance and durability of the material produced within the scope of this thesis.

1. GİRİŞ

Bir mekanın işlevine bağlı olarak, akustik açıdan uygun fiziki ortam koşullarını oluşturmak için gerekli pek çok düzenleme yapılmaktadır. Özellikle yüksek katlı konut ve ofis yapıları düşünüldüğünde hem yapı yükünü azaltmak hem de alan kazancı sağlamak amacıyla ince kesitli ve hafif malzeme kullanımı yaygındır. Bu durumun yapı kullanıcılarında yarattığı en önemli sorunlardan biri gürültü rahatsızlığı olarak ortaya çıkmaktadır.

Akustik biliminde yapı malzemeleri, ses iletimini azaltma ve ses dalgalarını yutma yetenekleri bakımından değerlendirilebilir. İlk durumda, yani malzemenin ses iletiminin azalmasında, hava doğuşlu ve yapısal (darbe) sesi yalıtım özelikleri dikkate alınırken, ikinci durumda, yani malzemenin ses yutuculuğunun artmasında, malzemenin hava doğuşlu sesi yutuculuk özelikleri dikkate alınır.

Malzemenin ses iletimini azaltmak yani ses yalıtımını artırmak için kullanılan yöntemlerden bazıları kalınlığın ve buna bağlı olarak kütlenin artırılması, iki veya çok katmanlı eleman tasarımı gibi yöntemlerdir. Ses yalıtımının kontrolünde etkili parametreler düşük, orta ve yüksek frekanslara göre farklılık gösterir. Düşük frekansta bölücü elemanı oluşturan malzemenin rijitliği ve yüzey yoğunluğu gibi parametreler önem kazanırken, orta frekansta malzemenin yüzey yoğunluğu etkilidir. Bu bölge "kütle kanunu" ile kontrol edilir. Yüksek frekans kritik frekansın olduğu bölgedir. Kritik frekans hesabında; sesin havadaki hızı ve malzemenin yoğunluğu arttıkça, kritik frekans artar, malzemenin kalınlığı, elastiklik modülü, poisson oranı arttıkça kritik frekans azalır. Kritik frekansı azaltmak için malzemenin kalınlığını yani yüzey yoğunluğunu artırmak en etkili yöntem olarak değerlendirilse de artan yüzey yoğunluğu yapı yükünü artırdığından optimumda tutulması sağlanmalıdır.

Ses yutuculuğu, sürtünme veya ısıl kayıp (gözenekli malzemeler için) nedeniyle veya rezonans olayları (delikli ve membran yutucular) nedeniyle bir malzemenin içinde yayılan enerjinin bir kısmını tanımlar. Bir malzemenin ses yutucu olabilmesi için malzemenin içinde hareket eden havanın bulunması gerekir, bu sebeple açık

gözeneklilik önemlidir. Aksine kapalı gözeneklilik, boşluklar içinde durgun havanın var olması nedeniyle genellikle ısıl yalıtkanlar için faydalıdır. Ses yalıtımı için gerekli olan ses azaltım değeri, büyük ölçüde malzemelerin kütlesine bağlıdır. Hafif malzemeler ise genellikle sesi az yalıtırlar, daha çok ses yutucu malzemeler olarak değerlendirilirler. Ses yutucu malzemeler, odaların çınlama sürelerini azaltmak için, akustik konfor ve konuşma açısından yararlı bir etki yaratmak için kullanılır.

Türkiye'de binalardaki ses yalıtımını değerlendirmek üzere Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 31 Mayıs 2017 tarihinde "Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik" yayınlanmıştır. Yönetmelik bu değerlendirmede hava doğuşlu ses yalıtımı, darbe ses yalıtımı, cephe ses yalıtımı, iç ortam arka plan gürültüsü, mekanik gürültü ve reverberasyon süresi gibi parametreleri ve her birinin sınır değerlerini belirlemektedir. Bu sınır değerler A-F aralığındaki akustik performans sınıflarıyla isimlendirilmiştir. En iyi akustik performansı A sınıfı temsil ederken F sınıfı en düşük performans sınıfını temsil etmektedir. Yönetmelikte, yeni yapılan binalar için, en az C performans sınıfı sağlanmalıdır. A veya B akustik performans sınıfını hedefleyen binalar için, "Akustik Performans Belgesi", binanın akustik koşullarını değerlendirmek ve belgelendirmek için hazırlanmaktadır (Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik, 2017).

Hava doğuşlu ses yalıtımı değerlendirmesinde A, B ve C sınıfına uygun değerleri elde etmek için günümüzde kullanılan yapı elemanını oluşturan malzemeler çoğunlukla yetersiz kalmaktadır. Bu çalışmada akustik konfor koşullarını sağlamak amacıyla mevcuta alternatif olabilecek hava doğuşlu ses yalıtımında etkili bir diğer deyişle ses iletim kaybı değeri yüksek kompozit bir eleman geliştirilecektir. Geliştirilecek bu malzemede LC^3 ekolojik bağlayıcısından yararlanılacaktır. LC^3'ün ana bileşenleri %50 klinker, %30 kalsine kil, %15 kireçtaşı ve %5 alçı taşıdır. Kalsine kaolinit kili ve kireçtaşının LC^3 (kireçtaşı, kalsine kil çimentoları) bileşiminde kullanılabilmesi çimento ikamesinde oldukça iyi sonuçlar vermektedir. Agrega olarak barit ve kauçuk agregalarının kullanım olanağı araştırılmıştır. Ses yalıtımının kütle yasasına göre, kütle ne kadar büyükse, malzemenin titreşmesi o kadar zor olur, bu da malzemenin daha iyi yalıtıma sahip olacağını gösterir (Ersoy, 2019). Çimentolu kompozitlerde atık lastik veya kauçuk, düşük yoğunluk, yüksek tokluk, süneklik ve darbe direnci, ısı ve ses yalıtım özeliklerinin artırılması açısından bazı avantajlara sahiptir (Paki ve Yeşilata, 2009). Bu nedenlerle, çalışma kapsamında barit agregasının ve atık kauçuk

agregasının ses yalıtımı yüksek olan malzemelerin üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır.

1.1 Çalışmanın Amacı ve Hipotez

Son yıllarda teknolojinin gelişmesiyle yapı malzemelerindeki ağırlıktan kaçınılmaya başlanmış, bu durum tasarımda esneklik sağlarken bazı sorunların ortaya çıkmasına neden olmuştur. İnce kesitli yapı elemanları maliyet açısından avantajlı görülürken başta konut yapıları olmak üzere ofis, hastane binaları gibi yapılarda gürültü problemlerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur.

İnsan kulağı 16 Hz-20 KHz arasındaki seslere duyarlıdır ancak en iyi 500 Hz ve 4000 Hz arasındaki konuşma frekansı bölgesini duyar. Bu çalışmada, insan kulağının en iyi duyduğu frekans aralığındaki akustik konfor koşullarını azaltan sesleri engelleyebilmek amacıyla duvar bölme ve yapı kabuğu elemanını oluşturan malzemenin ses iletim kaybı değerinin en iyi düzeyde tutulması amaçlanmıştır. Bu amaçla, farklı malzeme alternatifleri deney yöntemiyle tasarlanarak ses gücünün, şiddetinin ve basıncının yönetmelik tarafından belirlenen (Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik, 2017) değerlere getirilmesi hedeflenmiştir.

Yukarıda bahsedilen gereksinmelere cevap verebilmek için bu çalışmayla deneysel olarak geliştirilmiş olan harçta, bir yapı elemanının ses geçirimsizliğinde etkili parametrelerden en önemlisi olan ağırlığı sağlamak üzere barit agregası ve bir diğer önemli parametre olan rijitlik kontrolünü sağlayabileceği öngörüsüyle ülkemizde her yıl oluşan ömrünü tamamlamış atık lastik agregası kullanılmıştır. Harcın bağlayıcısı olarak, çimentoya ekolojik bir alternatif olarak geliştirilmiş olan "klinker-metakaolen-kireç taşı-alçı" karışımı olan LC^3 (URL-1) çimentosu kullanılmıştır. Çalışmada geliştirilmiş farklı karışımlardaki harç alternatiflerinin akustik yalıtım özeliklerinin yanı sıra fiziksel ve mekanik özelikleri tespit edilmiş ve değerlendirilmiştir. Deneysel çalışma kapsamında en iyi ses yalıtımı sağlayan malzemenin ses iletim kaybı değeri empedans tüpü ve INSUL yazılım programı ile tayin edilmiş, her iki test yöntemi karşılaştırılmış ve aralarındaki ilişki belirlenmiştir.

Bu doğrultuda tez çalışması, "bir binada ses iletimine bağlı konfor koşullarını sağlamak üzere tek tabakalı ve kalınlık açısından mevcuta alternatif olabilecek ancak ses yalıtım değeri iyileştirilmiş kompozit bir akustik eleman geliştirilebilir" hipotezine

dayanmaktadır. Buna bağlı olarak hipotezi destekleyen aşağıdaki adımlar geliştirilmiştir:

- Bir binada ses iletimine bağlı konfor koşullarını sağlamak üzere tek tabakalı ve kalınlık açısından mevcuta alternatif olabilecek ancak ses yalıtım değeri iyileştirilmiş kompozit bir malzeme geliştirilebilir.
- Kritik frekansı en iyi duyulabilen frekans aralığının (500 Hz-4000 Hz) dışına çıkarmak için malzemenin "ağırlığı ve yumuşaklığı" artırılabilir parametresine ve kütle kanununa göre malzemede ağırlığı artırmak amacıyla ekolojik çimentoya (LC^3) barit agregası katarak harç oluşumu sağlanabilir.
- Kütle kontrolü ile birlikte rijitlik kontrolünün de yalıtımda değerlendirilmesi gereken önemli bir parametre olması nedeniyle malzemenin rijitliğini azaltmak amacıyla barit agregalı ekolojik çimentoya (LC^3) atık kauçuk agregası katarak harç oluşumu sağlanabilir.
- Üretilecek malzeme, akustik performansın yanı sıra bir bölücü duvardan beklenilen diğer mekanik ve fiziksel performans gerekliliklerini sağlayabilir.
- Ekolojik malzemeler kullanılarak yenilikçi bir malzeme tasarımı gerçekleştirilebilir.

1.2 Çalışmanın Kapsamı ve Yöntem

Tez beş bölümden oluşmaktadır.

1. Giriş: İlk bölüm problemin tanımlandığı giriş bölümü olup, alt başlıkların ilkinde çalışmanın amacı ve hipotezi açıklanmıştır. Bu başlıkta hipotezi destekleyen adımlar tanımlanmıştır. Bir diğer başlıkta kapsam ve yöntem yer almaktadır.
2. Literatür Araştırması: İkinci bölümde literatür araştırmasına yer verilmiştir. Çalışma, "bir binada ses iletimine bağlı konfor koşullarını sağlamak üzere tek tabakalı kompozit bir malzeme geliştirilebilir" hipotezine dayanmaktadır. Bu hipotezin gerçekleşmesini sağlamak amacıyla, üretilecek yapı malzemesinin cinsi ve üretimine bağlı koşulların belirlenmesi, özeliklerinin tanımlanması, malzemenin akustik yalıtıma katkı sağlayan özeliklerinin iyileştirilmesi için gerekli olan parametrelerin belirlenmesi, ses yalıtımının tayini ve ilgili standartlar

konularında mevcut teorik alt yapının oluşturulması kapsamlı bir literatür araştırması ile ele alınmıştır.

3. Malzeme ve Yöntem: Üçüncü bölümde, ikinci bölümde yer alan parametreler arasındaki ilişkinin deneysel yöntemle ortaya konması için deneysel çalışma programı oluşturulmuş, çalışma kapsamında kullanılan malzemeler ve yöntem hakkında bilgiler verilmiştir. Ses iletim kaybı değeri yüksek harç geliştirilmesine yönelik yaklaşımın adımlarını kapsayan fiziksel ve mekanik özeliklerin belirlenmesi için yapılan deneyler, empedans tüpü deneyleri ve INSUL simülasyon yöntemi bu bölümde detaylı olarak açıklanmıştır.
4. Deneysel Çalışma Sonuçlarının Amaçlanan LC^3 Esaslı STL Değeri Yüksek Malzeme Üretimi Açısından İrdelenmesi ve Değerlendirilmesi: Dördüncü bölümde deneysel yöntemle malzeme geliştirilmiş ve geliştirilen malzemenin fiziksel, mekanik ve akustik deneyleri yapılmıştır. Ayrıca bu bölümde sistemi temsil eden bilgisayar simülasyonlarının günümüzde gerçeğe oldukça yakın sonuçlar vermesi nedeniyle simülasyon sonuçları verilmiştir. Elde edilen sonuçlar fotoğraf ve grafiklerle açıklanmış, sayısal veriler çizelgeler halinde tezin ekler kısmında sunulmuştur. Bölüm içerisinde deney verileri irdelenmiş ve bulgular değerlendirilmiştir. Bölüm sonunda en yüksek STL değeri elde edilen malzemenin fiziksel çevre denetimi ve sürdürülebilirlik açısından yapıda kullanım olanakları irdelenmiştir. Sonuç olarak deneysel yöntemle geliştirilen malzemenin yapı fiziği ve fiziksel çevre denetimi kuralları kapsamında uygunluğu irdelenmiştir.
5. Sonuçlar ve Öneriler: Tezin son bölümü olan beşinci bölümde ise, genel sonuçlar ve öneriler yer almaktadır. LC^3 esaslı akustik yalıtım malzemesinin barit ve kauçuk agregaları ile yapılarda gerekli ses yalıtımının sağlanması konusunda değerlendirilebileceği doktora çalışması kapsamında belirlenmiştir.

Çalışmada deneysel yöntem ve bilgisayar simülasyonlarından yararlanılmıştır.

Deneysel çalışmada esas bağlayıcı malzeme olarak ekolojik bir çimento olan LC^3 bağlayıcısı kullanılmıştır. İlk aşamada özelikleri nispeten bilinen Portland Çimentosu (PC Cem I: %95-100 klinker, TS EN 197-1) ile LC^3 bağlayıcısı kıyaslanmıştır. İkinci aşamada ise ses iletim kaybı değeri yüksek bir harç üretmek amacıyla karışıma katılan agrega dane boyutları, agrega türleri, agrega/bağlayıcı oranı gibi parametrelerin harcın fiziksel, mekanik ve akustik özelikleri üzerindeki etkilerinin araştırılması için deney

programı oluşturulmuştur. Deney programının adımları aşağıda görülmekte, ilgili bölümde deney programı kapsamlı bir şekilde anlatılmaktadır:

- Bağlayıcı türünün (LC^3 ve PC) harcın fiziksel, mekanik ve akustik özelikleri üzerindeki etkisinin araştırılması;
- Agrega dane boyutunun (8 mm ve 2 mm) harcın fiziksel, mekanik ve akustik özelikleri üzerindeki etkisinin araştırılması;
- Agrega türünün (kum, barit ve atık kauçuk) harcın fiziksel, mekanik ve akustik özelikleri üzerindeki etkisinin araştırılması;
- Farklı türde agregaların (barit ile kauçuğun) hacimce farklılaşarak birlikte kullanımının (2B1R ve 2R1B) sadece barit agregalı harç ve sadece kauçuk agregalı harcın fiziksel, mekanik ve akustik özelikleri üzerindeki etkisinin araştırılması;
- Agrega/bağlayıcı oranının (1/2, 1/2.75, 1/3.5) harcın fiziksel, mekanik ve akustik özelikleri üzerindeki etkisinin araştırılması.

Harçlar oluşturulurken su/bağlayıcı oranı kıvam sabitine göre belirlenmiştir. Malzemenin ses iletim kaybı sonuçları empedans tüpüyle ve INSUL yazılım programıyla belirlenmiş, numuneler, empedans tüpüne uygun çaplarda, düşük frekanslar için (63-1600 Hz) 98 mm, yüksek frekanslar (1600-6300 Hz) için 28 mm çapında üretilerek ses iletim kaybı değeri ölçülmüş ve INSUL yazılımındaki model sonuçlarıyla karşılaştırılarak aralarında bir ilişki kurulmuştur. Ayrıca geliştirilen malzemenin fiziksel ve mekanik özeliklerinin ölçülebilmesi için uygun boyutlarda ve sayıda numuneler üretilmiştir. Deney numuneleri üzerinde yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar önceden belirlenmiş varsayım doğrultusunda tartışılmıştır.

Deneylerde "Designation: C 595 – Standard Specification for 1 Blended Hydraulic Cements" (ASTM-C595/C595M-21, 2021) ve basınç deneylerinin hangi günde yapılacağını takip etmek için "ASTM C109 Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)" (ASTM-C109/C109M-20, 2020) standartlarından yararlanılmıştır. ASTM-C109/C109M-20 (2020) Standardına göre kum/bağlayıcı oranının ağırlıkça 2.75 olması ve TS EN 196-1'e (2009) uygun olarak maksimum dane boyutu 2 mm olan CEN Standart Kumu kullanılması nedeniyle doğru karşılaştırma yapabilmek için Portland Çimentolu numunelerde aynı oran ve dane boyutu esas alınmıştır. Dere kumu ile oluşturulacak LC^3 ve Portland çimentosu bağlayıcılı harçların kum/bağlayıcı oranı

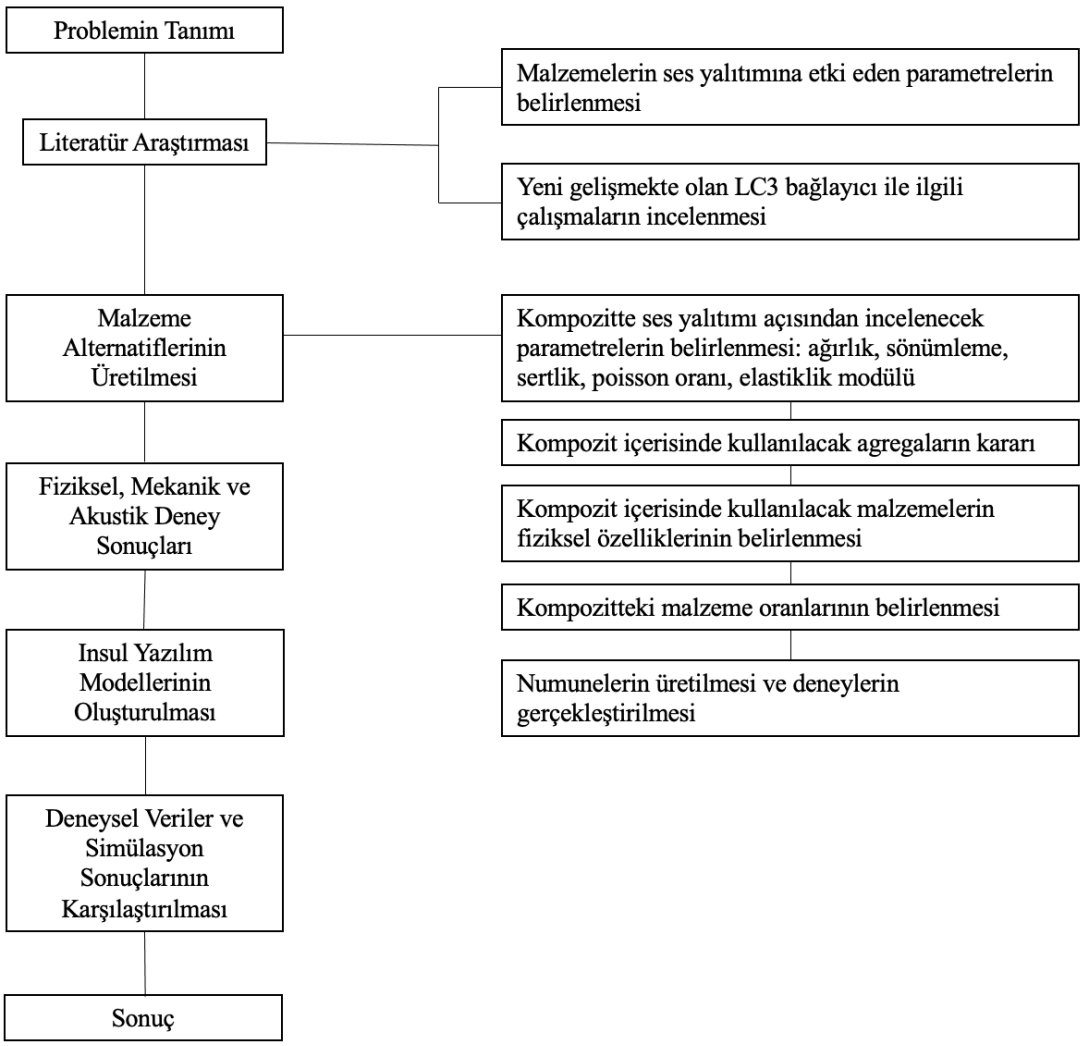
sabit tutulup (2.75) maksimum dane boyutu 2 mm olan agregalar ile numuneler oluşturulmuştur. Bu aşamada çalışmada bağlayıcı olarak kullanılan LC^3'ün özelikleri, özelikleri bilinen Portland çimentosu ile kıyaslanmıştır.

Bilgisayar simülasyonları, binanın inşaat ve kullanım aşamalarında karşılaşılabilecek sorunları tasarım aşamasında öngörebilmekte, zaman ve bütçe kaybı olmadan gerekli önlemlerin alınmasında bir tahmin aracı olarak kullanılabilmektedir. Bu çalışmada eldeki tüm malzeme alternatiflerinin, 1/1 ölçekte üretilip laboratuvarda test etmeye gerek kalmadan, INSUL bilgisayar yazılımı üzerinden modellenmesi ve simüle edilmesi yöntemiyle bir tahmin yürütülmektedir. Çalışmada, deneysel yöntemle tasarlanan farklı malzeme alternatifleri, simülasyon yöntemiyle de test edilerek, her iki yöntem arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Çalışmanın son aşamasında kullanılan bilgisayar simülasyon yöntemi aşamaları şu şekildedir:

1. Deneysel çalışmaya uygun olarak malzeme verileri (yoğunluk, kalınlık, elastiklik modülü, porozite, poisson oranı) INSUL programına aktarılmıştır.
2. Program üzerinde, malzemenin 60-90-120 mm kalınlıklarındaki ses iletim kaybı değerleri test edilmiştir.

Fiziksel olarak küçük ölçekli hazırlanmış ürünün, dijital hale getirilerek karşılaştırılması ve aralarında bir ilişki kurulması çalışmanın son aşamasıdır.

Sonuç olarak bu araştırma kapsamında ekolojik çimento bağlayıcılı harç numunelerinin değişen kalınlık değerine ve değişen karışım içeriğine göre ses iletim kaybı ölçümleri yapılmıştır. Değişen parametrelere bağlı ses iletim kaybı değerleri incelenerek çeşitli karşılaştırmalar yapılmış ve ses yalıtımının hipotezle paralel olarak artırılması sağlanmıştır. Şekil 1.1'de çalışmanın aşamalarını gösteren akış şeması sunulmuştur.



Şekil 1.1: Tez akış şeması.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu çalışmada akustik konfor koşullarını sağlamak amacıyla ses iletim kaybı değeri yüksek malzeme geliştirilmesi konusu araştırılmaktadır. Literatür araştırması kapsamında öncelikle deneysel çalışmada üretilen harcın bağlayıcısı olarak kullanılan LC^3 ekolojik çimento ile harçta agrega olarak kullanılan barit ve atık lastik (kauçuk) agregaları ile ilgili literatür incelenmiştir. Bu literatür bilgisinin yanı sıra tezin amacıyla ilişkili olarak ses yalıtımında etkili olan faktörler, malzemenin akustik özeliklerine ilişkin parametreler, bu parametrelere dayanılarak geliştirilmiş akustik malzemeler ve ses iletim kaybının ölçülmesinde kullanılan standartlar ile ilgili çalışmalar araştırılmış ve aşağıdaki bölümlerde sırasıyla verilmiştir.

2.1 Kireçtaşı Kalsine Kil Harcı (LC^3)

Çimento, belli oranlarda karıştırılan kil, kalker ve alçı karışımının çeşitli sıcaklıklarda (1200-1450 ^oC) pişirilmesi sonucu elde edilen havada ve suda katılaşma özeliği gösteren gri veya beyaz renkli inorganik esaslı bağlayıcıdır. Portland çimentosu, %23 kil ve %77 kalkerin öğütülüp karışım haline getirildikten sonra 1450 ^oC'de pişirilip soğutularak klinker haline getirilmesi, bu klinkerin 5 ila 90 mikron aralığında öğütülmesi ve öğütülürken klinkere %3 oranında alçıtaşı ilave edilmesiyle elde edilir.

Portland Çimentosu üretiminde ilk olarak yüksek sıcaklıkta kil ve kalker ayrışır. Kalkerin ayrışması sonucunda kireç (CaO), kilin ayrışması sonucunda silis (SiO_2), alümin (Al_2O_3) ve demir oksit (Fe_2O_3) açığa çıkar. Bu ortaya çıkan maddeler, yüksek sıcaklıkta birleşerek çimentoya bağlayıcılık özeliği kazandıran silikatları ve alüminatları meydana getirir (Postacıoğlu, 1986, s. 5).

Ayrıca, bağlayıcı üretiminde çimento miktarını azaltmak amacıyla kullanılan çimento ikame malzemeleri bulunmaktadır. Bunlar volkanik tüf gibi doğal malzemeler, uçucu kül, yüksek fırın cürufu, silis dumanı gibi atık sentetik malzemeler veya metakaolen gibi özel olarak üretilen malzemelerdir. Bu malzemeler çimento hidratasyonunun yan ürünü olan CH (kalsiyum hidroksit) ile reaksiyon verebilen malzemelerdir.

Portland çimentosunda mukavemet gelişiminin çoğu, C_3S'nin su ile reaksiyona girerek nano yapılı ve zayıf kristalli C-S-H (kalsiyum silikat hidrat) ile kristalli parçacıklardan oluşan CH (kalsiyum hidroksit) şeklinde değişken stokiometriye sahip birleşik oluşturmasından kaynaklanır. Genel olarak bu hidratasyon reaksiyonu, başlangıçtaki katıların hacminin iki katına sahip katıların oluşumuna yol açar, ancak suyun oluşan katının içinde sıkıca paketlenmesinden ötürü oluşan katının toplam hacim azalır (Flatt ve diğ, 2012).

Kireç (CaO): Kireç $CaCO_3$'ün 900 ºC'nin üzerinde pişirilmesi ile elde edilir. Yoğunluğu 3,08-3,30 arasında değişmektedir. Bir baz olan kirecin silis, alümin ve demir oksit ile birleşme özeliği vardır ve bağlayıcı malzemelerin en önemli bileşenidir. Kireç, silis ve alüminle birleşerek silikat ve alüminatları oluşturur ve kirecin çimentoda tamamen silikat ve alüminat halde bulunması gereklidir. Çimentoda birleşmemiş kirecin varlığı oldukça zararlıdır (Postacıoğlu, 1986, s. 10).

Silis (SiO_2): Portland Çimentolarında %20-25 aralığında bulunur. Silis bir ergitici karşısında ısıtılacak olursa sıcaklık 870 ºC'ye ulaştığında kuvartz trimidite, trimidit 1470 ºC'de kristobalite dönüşür. Kristobalitin 1710 ºC'de erimesi sonucu amorf silis elde edilir ve kristal yapıda önemli değişimler meydana gelir. Silis, puzolanlarda da oldukça önemli rol oynar (Postacıoğlu, 1986, s. 12).

Alümin (Al_2O3): Alümin doğada renksiz, korendon halinde bulunur. Alümin portland tipi çimentolarda %4-7 gibi oldukça az miktarda bulunur ve 2000 ºC civarında erir (Postacıoğlu, 1986, s. 12).

Demiroksit (Fe_2O_3): Çimentolarda az miktarda bulunur. Pişirme sırasında hem kireçle hem de alüminatla birleşerek ferro alüminat kalsik'leri meydana getirir. Çimentonun gri renkli olmasının nedeni demir oksittir. Beyaz çimentolarda demir oksit bulunmamaktadır (Postacıoğlu, 1986, s. 13).

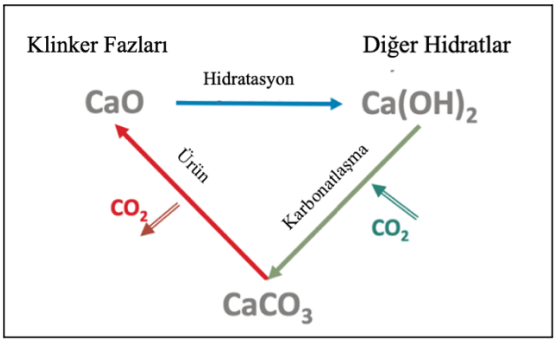
Örneğin; çimentonun üretimi yaklaşık 850 kcal enerji ve üretilen kilogram çimento başına yaklaşık 0.8-1.0 kg CO_2 gerektirir. Çimento endüstrisi, bilim topluluğu ile birlikte aktif olarak çimento üretiminde kullanılan enerjiyi azaltmak, düşük CO_2 içeren bağlayıcılar üretmek ve diğer endüstrilerdeki atık malzemeleri yeniden kullanmak için alternatifler aramaktadır (Reig ve diğ, 2013).

Beton üretimi ve buna bağlı olarak çimento üretimi, toplam CO_2 emisyonlarının %5-8'ini oluşturduğu için iklim üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu CO_2'nin %95'i

çimento üretimi sırasında üretilir ve bunun yarısı çimento üretimi sırasında kireçtaşının karbondan arındırılmasıyla salınır. Çimento, elektrik üretiminden sonra, CO_2 emisyonlarının en büyük ikinci kaynağı ve sudan sonra en çok tüketilen ikinci üründür. Ayrıca, gelişmekte olan ülkelerdeki hızlı kentsel gelişim, çimento talebini artırmakta ve son araştırmalar, çimento üretiminin ilerleyen yıllarda küresel CO_2 emisyonlarının %10-15'ini oluşturabileceğini tahmin etmektedir.

Çok yüksek klinker/çimento oranına sahip geleneksel çimentolara talebin artması, hızlı büyüyen ekonomiler için sorun haline gelmektedir. Bu nedenle, geleneksel teknolojilerden alternatif teknolojilere geçiş zorunluluk haline gelmiştir denilebilir (Díaz ve diğ, 2017).

Bunun yanı sıra, çimento esaslı malzemelerde CO_2 emisyonunun aslında doğal bir karbon tutma ve depolama biçimi olarak kabul edilebileceği de bildirilmektedir. Çimento üretimi sırasında kireçtaşının ayrışmasından ($CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$) "kimyasal" CO_2 açığa çıkmaktadır ancak sonuçta elde edilen hidratasyon ürünleri daha sonra aynı miktarda atmosferik CO_2 ile reaksiyona girerek çimento bazlı malzemelerdeki kalsiyumu kalsiyum karbonata geri bağlamaktadır (UN Environment ve diğ, 2018). Bu durum şematik olarak Şekil 2.1'de açıklanmıştır.



Şekil 2.1: Çimento/beton üretiminde karbon döngüsü (UN Environment ve diğ, 2018).

Çimentonun çevresel etkilerini azaltmak amacıyla günümüzde çeşitli çimento ikame malzemeleri kullanılmaktadır. Dünyada artık mevcut olan çimentoların, mühendislik, ekonomik ve çevresel performansları geliştirmek amacıyla çimento ikame malzemeleriyle (SCM-supplementary cementitious materials) üretilmesi amaçlanmaktadır (Taylor, 1997). Ancak klinker ikamesi belirli sınırlar dahilinde yapılabilmektedir. Klinkerin %65'e kadar ikame edilebildiği cüruflar hariç, çoğu uluslararası çimento standardında bu sınır %35 civarındadır. Dünya çapında ortalama

klinker ikame seviyesi ise %25 civarındadır (Initiative, 2009). Çimento ikame malzemelerinin bulunabilirliği ve rezerv miktarı bu bağlamda oldukça önemlidir. Özellikle uçucu kül ve cüruf gibi endüstriyel kökenli olanların elde edilmesi, yan ürün oldukları için belirli bölgelerle sınırlıdır. Önümüzdeki yıllarda çimento talebinin katlanarak artacağı pek çok bölgede ana rezervler oluşmamaktadır. Ayrıca, çimento ikame malzemeleri henüz dünya çimento üretiminin yaklaşık %10'u kadardır (Díaz ve diğ, 2017). Çimento ikame malzemelerinin üretim oranının daha da artırılması özellikle ekolojik açıdan büyük önem taşımaktadır.

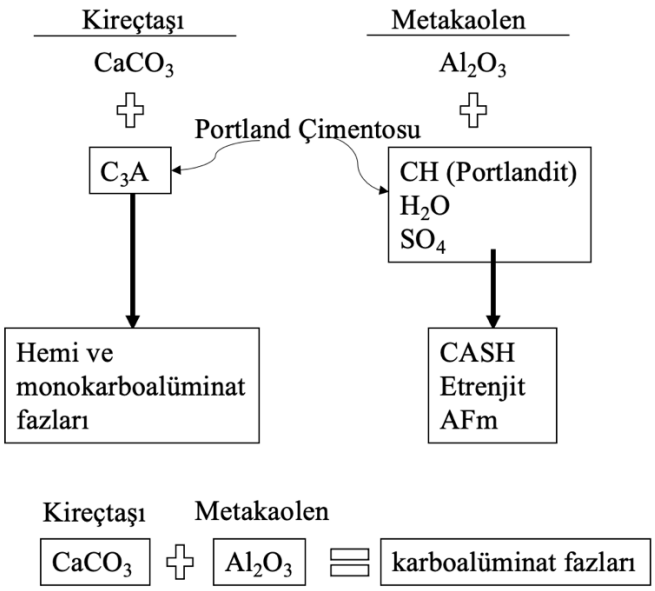
Çimentoyu ikame etmek için kullanılan bir diğer malzeme kalsine kildir. Kalsine killerin kullanımı geniş bir geçmişe sahiptir. 1950'lerin başlarında Mielenz ve diğ. (1950) puzolanın kalsinasyonunu ve puzolanın ABD'de beton uygulamalarında olası kullanımını araştırmıştır. Metakaolenin inşaat için çimento ikame malzemesi (SCM) olarak ilk kullanım raporu, 1960'larda Brezilya'da Jupia barajında ve hacimce %30 çimentonun yerini alarak kullanıldığı yönündedir (Saad ve diğ, 1982). Aynı dönemde, Hindistan'da Bhakra Barajı'nın inşaatı için yerel olarak "surkhi" olarak adlandırılan ince öğütülmüş kalsine killerin kullanımından bahsedilmektedir (Ramachandran, 1996). Kalsine kilin çimento ikamesi için endüstriyel kullanımı mevcuttur ancak genel olarak uçucu kül veya cüruf gibi diğer çimento ikame malzemelerine nazaran kullanım oranı düşük kalmaktadır. Kilin, dünya çapında bulunabilirliği nedeniyle çimento ikame malzemesi olarak elde edilmesi kolaylık sağlar; yerkabuğunda tüm dünyaya dağılırlar. Örneğin, ABD'de toplam kaolen kaynakları 1 milyar tonun üzerinde olup, renksiz ve kumlu kil rezervleri de dikkate alındığında kaynakların 5 milyar tona kadar çıktığı tahmin edilmektedir (Antoni, 2013; URL-2). Türkiye'nin ise yaklaşık 100 milyon ton kaolen rezervine sahip olduğu tahmin edilmektedir. Balıkesir, Nevşehir, Niğde, Bolu, Çanakkale ve Doğu Karadeniz bölgelerindeki bazı köylerde kaolen rezervleri tespit edilmiştir (URL-3).

Portland çimentosunun kalsine kil, kireçtaşı tozu ve alçı ile birleşimine dayanan yeni bir ekolojik çimento geliştirilmiştir. LC^3 (Calcined Clay Limestone Cements) çimentosu geleneksel üretimde atık olarak kabul edilen maden ocağında yer alan düşük kaliteli kil ve dolomit açısından zengin kireçtaşı gibi malzemelerle üretilebilmektedir (Díaz ve diğ, 2017). LC^3-50 (50: klinker içeriğini yüzdelik olarak temsil eder) çimentosunun ana bileşenleri: %50 öğütülmüş klinker, %30 kalsine kil (metakaolen),

%15 kireç taşı ve %5 alçı'dır. LC^3 çimentosu aşağıdaki gibi tarif edilmektedir (Scrivener ve diğ, 2018):

- Önemli miktarda kaolinite sahip killer, 700-850 ^oC arasında kalsine edildiğinde yüksek derecede puzolanik özelik sergilemektedir. Kalsinasyon derecesi klinker üretimine nazaran daha düşük olduğu için üretiminde sofistike ekipmanlara gereksinim duyulmaz.
- LC^3'ün üretim süreci, kalsinasyon ve öğütme içerir. Öğütme ve karıştırma bilyalı değirmenlerde veya diğer öğütme tesislerinde yapılabilir. Dolayısıyla bu teknoloji, mevcut çimento üretim tesisleri için ekipman üretimi yapanlar tarafından bilinmektedir ve istenilen her ölçeğe göre uyarlanabilir
- Karışımda kalsine kil ve kireçtaşının birlikte yer almasıyla kullanılan klinker miktarı azalır.
- Kaolinit içeren kil kalsine edildiğinde metakaolen meydana gelir. Metakaolen amorf alüminosilikat ($Al_2Si_2O_7$) olup, aynı geleneksel bir puzolanda olduğu gibi kalsiyum hidroksit ($CaOH_2$) ile reaksiyona girerek C-(A)-S-H ve aluminat hidratları oluşturur. İlave olarak alümin, kireçtaşıyla reaksiyona girerek karboalüminat hidratları üretir. Tüm bu ürünler boşlukları doldurarak mukavemet ve durabilite gibi özeliklerin gelişmesine katkı sağlar.
- Kalsine kilin reaktivitesi büyük ölçüde kilin kaolinit içeriğine bağlıdır. %40 ya da daha fazla oranda kaolinit içeren kilin LC^3-50 çimentosunda kullanılmasıyla Portland çimentosuna eşdeğer mukavemetler elde edilebilir. Bu tür killer yaygın olarak bulunduğundan ve kil çimento üretiminin de hammaddesi olduğundan çimento üretim tesislerinin mevcut madenlerinden de elde edilebilir.
- Kalsine kil ve kireçtaşı katkılı çimentolar genel çimento türlerinin kullanıldığı yerlerde kullanılabilir.
- Çimentonun bu iki farklı ürünle yer değiştirmesi ile özellikle erken yaşta iyi bir mekanik dayanım elde edilebilir. Kil çok ince öğütüldüğü için uçucu küle nazaran daha hızlı ve daha yüksek düzeyde reaksiyona girer. Puzolandan ziyade hidrolik malzeme olarak kabul edilebilen yüksek fırın cürufu ile de benzer oranda çimento ikamesi sağlanabilir.

LC^3 çimentosu ile ilgili yapılan çalışmalar metakaolen ve kireç taşı reaksiyonlarının kalsiyum hidroksiti tamamen tükettiğini göstermektedir. LC^3 çimentosunun mekanizması şu şekilde açıklanabilir: Metakaolen kireçtaşı ile yalnızca metakaolen-Portland çimentosu ile oluşturulmuş harçlardan daha hızlı tepkimeye girmektedir. Ayrıca kireçtaşı metakaolen ile yalnızca kireçtaşı-Portland çimentosu ile oluşturulmuş harçlardan daha hızlı reaksiyona girmektedir (Antoni ve diğ, 2012). LC^3 çimentosu ile hazırlanan harçlarda, kireçtaşı ile sağlanan kalsiyum karbonat ve kalsine kil (metakaolen) tarafından sağlanan ekstra alümina Portland çimentosu ile alümina fazları oluşturmak üzere reaksiyona girmektedir. Metakaolen, puzolanik malzeme olarak portlandit (CH), su ve sülfat ile reaksiyona girerek C-A-S-H, etrenjit ve AFm (alümina ferrit mono: hidrate kalsiyum alümina fazları) fazlarını oluşturur. Portland çimentosuna kireçtaşı eklendiğinde, kalsit ($CaCO_3$), klinkerdeki C_3A ile reaksiyona girerek hemi ve monokarboalüminat fazlarını oluşturur. Monokarboalüminat fazları etrenjiti yani pası önlediği için önem kazanmaktadır. LC^3'te metakaolen kaynaklı alüminat ayrıca kalsit ile reaksiyona girer ve karboalüminat fazlarının oluşumunu artırır (Avet ve Scrivener, 2018). Erken yaşta mukavemet kazanımı puzolanik çimentolarda yavaş olduğundan, LC^3 harçlarında alümina fazı ilk 7 gün boyunca güçlü bir şekilde reaksiyona girdiğinden, LC^3 harçlarının erken mukavemetleri ikili katkılı çimento harçlardan çok daha yüksektir (Díaz ve diğ, 2017). LC^3 bağlayıcıları ile hazırlanan harçlarda metakaolen tarafından sağlanan ekstra alüminanın daha fazla kireç taşı ile reaksiyona gireceği ve mekanik özeliklerin daha yüksek ikame seviyelerinde dahi korunmasına izin verdiği çalışmalarda görülmüştür (Antoni ve diğ, 2012). Yukarıdaki reaksiyonda bahsedildiği gibi alümina, boşlukları doldurmaya katkıda bulunan, mukavemeti ve dayanıklılığı artıran karboalüminat hidratları oluşturmak için kalsiyum karbonat (kireçtaşı) ile reaksiyona girmektedir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2: LC^3 reaksiyon mekanizması.

Avrupa standartlarında %55'e kadar klinker ikame seviyelerine izin verilmektedir. Bu ikame özellikle metakaolen içeren kalsine edilmiş killerin hızlı reaksiyona girmesi için etkilidir. Örneğin; %30 sadece kalsine kil ikamesi yerine %30 kil ve %15 kireçtaşı ile birlikte %45'lik ikame yapıldığında mukavemet azalması daha az görülmektedir (UN Environment ve diğ, 2018). LC^3 çimentosunda karışıma eklenen ekstra kireçtaşı, kullanılan puzolan miktarını %35'te tutarken klinker ikame seviyesinin artışına katkı sağlayabilir. Kalsine kil/kireçtaşı oranı 2:1 oranında tutulursa, klinkerin %15'inin ikame edilmesini sağlayabilir, bu da klinkerin toplam %50'sinin ikame edilmesi demektir (Díaz ve diğ, 2017).

2.1.1 Kireçtaşı kalsine kil (LC^3) bağlayıcısı ile üretilmiş harcın kür koşulları, priz süreci ve katılaşma

LC^3 harçlarının kür koşulları, priz süresi ve katılaşması çalışmanın deney programını belirlediğinden konuyla ilgili literatür araştırması bu bölümde ele alınmıştır.

Avet ve diğerlerinin (2016) çalışmasında %50 klinker, %30 kalsine kil, %15 kireç taşı, %5 alçı oranlarıyla LC^3 bağlayıcısı oluşturulmuş ve su/bağlayıcı oranı EN 196-1'e (2009) göre belirlenerek 0.5 olacak şekilde harçlar dökülmüştür. Harçlar 1 gün sonra kalıptan çıkarılmış ve test edilinceye kadar (1, 3, 7, 28, 90 gün) buharlı kürleme odasında (*fog room*) kürlenmiştir.

Avet ve Scrivener (2018), %53 klinker, %30 kalsine kil, %15 kireç taşı, %2 alçı oranlarıyla LC^3 bağlayıcısı oluşturmuş ve su/bağlayıcı oranı 0.4 olacak şekilde harçlar

hazırlamıştır. Harç, 1600 rpm'de (1 dk içerisinde gerçekleştirilen dönüş/devir sayısı) 2 dk karıştırılmış ve daha sonra test edilene kadar 28 gün 20 °C'de kürlenmiştir.

Shah ve diğ. (2018) %50 klinker, %31 kalsine kil, %15 kireç taşı, %4 alçı oranlarıyla LC^3 bağlayıcısı oluşturmuş ve su/bağlayıcı oranı 0.35 olacak şekilde harçları hazırlamıştır. Dökümden 24 saat sonra, numuneler kalıptan çıkarılmış ve 120 gün boyunca kirece doygun su içinde kürlenmiştir.

Dhandapani ve Santhanam'in (2017) çalışmasında %55 klinker, %30 kalsine kil, %15 kireç taşı oranlarıyla LC^3 bağlayıcısı oluşturulmuş, çalışmada alçı kullanılmamıştır ve su/bağlayıcı oranı 0.45 olacak şekilde harçlar dökülmüştür. Harcın bağlayıcı:agrega oranı 1:3 olarak belirlenmiştir.

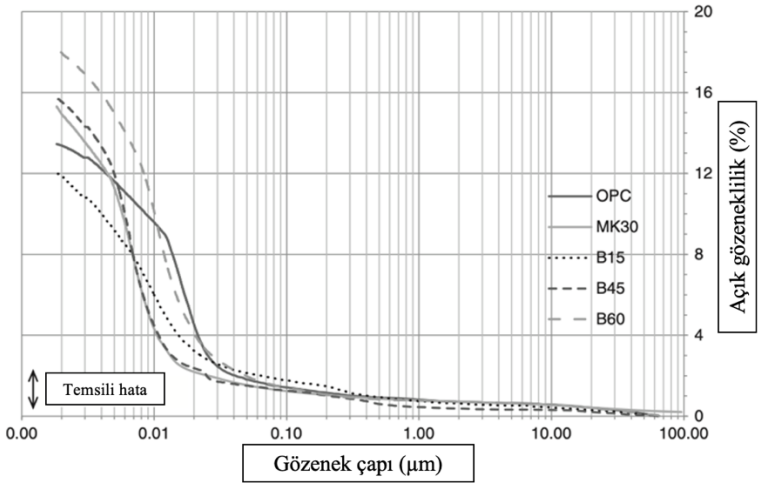
LC^3'nin Portland Çimentosu ile karşılaştırılması

LC^3 çimentosunun puzolanlı çimento ve standart Portland çimentosu ile CO_2 salınım oranı açısından karşılaştırması yapıldığında, LC^3 çimentosunun minimum klinker oranı ≤%45 (ASTM-C595/C595M-21, 2021) puzolan oranı: ≤ %40, kireçtaşı tozu oranı: ≤ %15 olacak şekilde hazırlandığında diğer iki çimentoya göre en az %30 oranında daha az CO_2 salınımı gerçekleştirdiği görülmüştür (Scrivener ve diğ, 2018). LC^3'teki en büyük yenilik, bol miktarda bulunan düşük dereceli kaolinit kilinin, kireç taşı ile birlikte kullanımını, mekanik performansta bir düşüş olmadan sağlamaktır. Ayrıca yüksek derecelerde pişirilip, soğutularak elde edilen klinkerin %45-50 oranında kullanımı, çimento üretiminde harcanan enerji tüketimi açısından oldukça ekolojik bir yaklaşımdır denilebilir. LC^3 bağlayıcıların ekolojik olarak nitelendirilmesi şu nedenlerle açıklanabilir: Metakaolenin kalsine edilmesi, klinkerizasyon sıcaklığının yarısında gerçekleşir. Kireçtaşı ise kalsine edilmez, bu nedenle CO_2 emisyonlarında artışa neden olmaz (Díaz ve diğ, 2017).

LC^3 çimentosu Portland çimentosu ile maliyet açısından karşılaştırıldığında üretim maliyetinin şu anda üretilen alternatiflere göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. LC^3 içeriğindeki metakaolen, kireçtaşı tozu ve alçı taşı malzemelerinin yerel bulunabilirliğine ve fiyatlarına bağlı olarak, standart Portland çimentosu maliyetinden daha düşük ve belki de diğer çimento ikame malzemelerinin maliyetinden de daha düşük olduğu tespit edilmiştir (Scrivener ve diğ, 2018).

LC^3 çimentosu Portland çimentosu ile mukavemet açısından karşılaştırıldığında, LC^3 çimentosu ile hazırlanan harçlarda artan gözenekliliğe paralel olarak mukavemet, azalma eğiliminde olmasına rağmen, %45'e kadar olan çimento ikame seviyelerinde gözeneklilikteki önemli artış mukavemette neredeyse hiç azalmamaya neden olmuştur (Antoni ve diğ, 2012).

Standart Portland çimentosuna göre ikame malzemeli çimentolarda gözenekler daha incedir. Çimento ikame malzemelerinin (SCM) puzolanik reaksiyonu sonucunda oluşan ürünler, gözenek yapısının yoğunlaşmasına ve küçülmesine yardımcı olmaktadır. Şekil 2.3'te OPC; Standart Portland Çimentosu 'nu, MK30; %70 Portland Çimentosu ve %30 metakaolen karışımını, B15; %85 Portland Çimentosu, %5 kireçtaşı tozu ve %10 metakaolen karışımını, B45 %55 Portland Çimentosu, %15 kireçtaşı tozu ve %30 metakaolen karışımını, B60 %40 Portland Çimentosu, %20 kireçtaşı tozu ve %40 metakaolen karışımını temsil etmektedir (Antoni ve diğ, 2012). Toplam gözeneklilik oranı standart Portland çimentosu ile oluşturulmuş harçta daha düşük olmasına rağmen, LC^3 bağlayıcılı harçlarda (B15, B45 ve B60) %15-60'lık bir klinker ikame seviyesiyle bile standart Portland çimentosuna kıyasla daha küçük gözenek çapı elde edilebilmiştir.



Şekil 2.3: Cıva porozimetresi ile elde edilen 28 günlük gözenek çapının bir fonksiyonu olarak açık gözeneklilik (Antoni ve diğ, 2012).

Karbonatlaşma sonunda Portland çimentosunun (OPC) porozitesinde genel bir azalma olurken, harmanlanmış çimentolarda artış görülmüştür (Şekil 2.4). OPC porozitesindeki azalmanın nedeni öncelikle CH'nin (portlandit- $Ca(OH)_2$) karbonatlaşmasına bağlanabilmektedir. Karbonatlaşma ile çökelen kalsiyum karbonatın, polimorf tipi ne olursa olsun, toplam katı hacmi CH'inkinden daha fazladır.

(Lagerblad, 2005; Shah ve diğ, 2018). Ek katı hacim, mikro yapıdaki boş gözenek hacmini kaplar, dolayısıyla karbonatlaşma ile gözenekliliğin azalmasına neden olur. Puzolan katkılı çimentoda ve LC^3 sisteminde karbonatlaşma sonrasında meydana gelen porozite artışının gözlenmesinin nedeni, puzolanlı çimentoda OPC'ye nazaran daha düşük miktarda CH bulunması ve sonucunda C-S-H ve diğer hidratasyon fazlarının daha geniş ve kapsamlı bir şekilde karbonatlaşmasıdır, bu durumda toplam katı hacim azalır.

Birkaç çalışmada belirtildiği gibi (Shi ve diğ, 2016; Villain ve Thiery, 2005), tüm çimentolu harçlarda karbonatlaşmaya bağlı olarak gözeneklerin artışı gözlemlenmiştir (Shah ve diğ, 2018).

UC: Karbonatlaşmamış (uncarbonated), AC: hızlandırılmış karbonatlaşma (accelerated carbonated), N: Doğal (natural)

Karbonatsız ve karbonatlı numunelerin MIP (Mercury Intrusion Porosimetry) sonuçları.

	Toplam gözeneklilik (%)			Gözenek çapı (nm)		
	OPC	PPC	LC^3	OPC	PPC	LC^3
UC	12.1	14.2	16.2	15.7	10.0	14.7
AC	10.5	14.5	17.4	49.7	58.3	43.2
N	11.6	16.3	17.8	65.8	26.2	50.8

Şekil 2.4: Karbonatlaşmamış ve hızlandırılmış karbonatlaşma sonucunda OPC (Standart Portland Çimentosu), PPC (Puzolanlı Portland Çimentosu) ve LC^3 harcından üretilen numunelerin MIP (Mercury Intrusion Porosimetry) sonuçları (Shah ve diğ, 2018).

LC^3'ün standart Portland çimentosu ile CO_2 salımı açısından (Scrivener ve diğ, 2018), maliyet açısından (Scrivener ve diğ, 2018), mukavemet (Avet ve diğ, 2016; Dhandapani ve Santhanam, 2017; Scrivener ve diğ, 2018) ve gözenek yapısı (Avet ve Scrivener, 2018; Dhandapani ve Santhanam, 2017; Shah ve diğ, 2018) açısından çeşitli karşılaştırmaları yapılmış ve sonuçlar Çizelge 2.1'de sunulmuştur. Sonuç olarak LC^3 çimentosunun Portland çimentolu harçlara nazaran daha az CO_2 salımı gerçekleştirmesi, LC^3 çimentosunun daha ekolojik olmasını sağlamaktadır. LC^3 içeriğinde kullanılan çimento ikame malzemelerinin kolay bulunabilirliği ve üretim kolaylığı, LC^3 çimentosunu maliyet açısından da Portland çimentolu harçlara nazaran daha uygun hale getirmektedir. LC^3'li harçlarda, Portland çimentolu harçlara kıyasla yüksek klinker ikame seviyelerinde bile mekanik özelliklerde ya çok az ya da hiçbir

azalma gözlenmemiştir. Bu durumunun nedeninin LC^3'li harçlardaki artan gözenekliliğe rağmen daha ince gözenek yapısı elde edilmesi düşünülmektedir. Ancak LC^3'ün akustik özelikleri ile ilgili çalışmalara literatürde rastlanmamıştır. Malzemenin boşluk yapısının akustik performansı etkileyen önemli parametrelerden biri olduğu bilinmekte ve LC^3'ün sahip olduğu Portland çimentolu harçlara nazaran daha küçük gözenekli yapının ses yalıtımını artırmada etkili olacağı öngörülmektedir.

Çizelge 2.1: LC^3 bağlayıcısının harçların özelikleri üzerindeki etkileri.

Kaynak	İncelenen Özelik	Bağlayıcı bileşimi (%)	Bağlayıcı/ agrega	Su/ bağlayıcı	Kür koşulları ve priz süresi	Sonuçlar
Scrivener ve diğ. (2018)	CO_2 salınımı	metakaolen: 40% kireçtaşı tozu: 15% klinker: 45%	-	-	-	LC^3 çimentosu puzolanlı çimento ve standart Portland çimentosu ile CO_2 salınım oranı açısından karşılaştırması yapılmış ve LC^3 çimentosunun iki çimentoya göre en az %30 oranında daha az CO_2 salınımı gerçekleştirdiği görülmüştür
Scrivener ve diğ. (2018)	Maliyet	klinker: 45%'e kadar	-	-	-	LC^3 içeriğindeki metakaolen, kireçtaşı tozu ve alçı taşı malzemelerinin yerel bulunabilirliğine ve fiyatlarına bağlı olarak, standart Portland çimentosu maliyetinden daha düşüktür.
Antoni ve diğ. (2012)	Mekanik özelikler	kireçtaşı tozu: 5/10/15/20% metakaolen: 10/20/30/40% Standart Portland Çimentosu: 85/70/55/40%	1/2.75	0.5	Numunelerin hidratasyonu, İzopropanol içinde 7 gün veya daha uzun süre bekletilerek durdurulmuş, ardından 3 gün boyunca vakumlu kurutucuda kurutulmuştur.	7. ve 28. günde %100 PC referansından daha yüksek mukavemet elde edilmiştir.
Avet ve Scrivener (2018)	Gözenek özelikleri	metakaolen: 29.4% kireçtaşı tozu: 14.7% alçıtaşı: 2% klinker: 53.9%	-	0.4	Harç 2 dakika 1600 rpm'de (devir/dakika) karıştırılmış ve ardından test edilene kadar (28 gün) 20°C'de kürlenmiştir.	28 günde, MIP (Mercury Intrusion Porosimetry) sonuçları, tüm LC^3 karışımlarının, cıva girişinin önemli ölçüde artmaya başladığı daha küçük gözenek giriş yarıçapı ile gösterildiği gibi, PC'den daha ince bir gözenek bağlantısına sahip olduğunu göstermektedir. SEM resimleri, LC3 için PC'den çok daha yoğun bir mikro yapı gösterir.
Avet ve diğ. (2016)	Mekanik özelikler	metakaolen: 30% kireçtaşı tozu: 15% alçıtaşı: 5% klinker: 50%	1/2.75	0.5	Harçlar 1 gün sonra kalıptan çıkarılmış ve test edilene kadar kürlenmiştir. Basınç dayanımı ölçümleri, dökümden 1, 3, 7, 28 ve 90 gün sonra 40x40x40 mm boyutunda harç küpleri üzerinde gerçekleştirilmiştir.	LC^3 harcının basınç dayanımı 3, 7, 28 ve 90. günlerde %100 PC referansından daha yüksek bulunmuştur.
Dhandapani ve Santhanam (2017)	Mekanik ve gözenek özelikleri	metakaolen: 30% kireçtaşı tozu: 15% klinker: 55%	1/3	0.45	İlk priz süresi (dk): 101 dk Nihai sertleşme süresi (dk): 165 dk Numuneler, belirtilen test süresine kadar nemli bir odada kürlenmiştir.	LC^3 harcının 28 günlük basınç dayanımı 42.1 MPa. (Standart PC: 61 MPa) bulunmuştur. LC^3 bağlayıcısı, standart PC'na kıyasla oldukça ince gözenek yapısına, yani daha küçük gözenek çapına sahiptir.
Shah ve diğ. (2018)	Gözenek özelikleri	metakaolen: 31% kireçtaşı tozu: 15% alçıtaşı: 4% klinker: 50%	-	0.35	Dökümden 24 saat sonra numuneler kalıptan çıkarılmış ve daha sonra 120 gün boyunca kireçle doymuş suda kürlenmiştir.	Portland çimentosu referansına göre katkılı çimentolarda gözeneklerin daha ince olduğu gözlemlenmiştir. SCM'lerin puzolanik reaksiyonunda oluşan ürünler, katkılı çimentolarda gözenek yapılarının yoğunlaşmasına ve incelmesine yardımcı olmaktadır. LC^3, %50'lik bir klinker ikame seviyesinde bile OPC'ye kıyasla daha küçük bir kritik gözenek çapına sahiptir.

2.1.2 Barit agregası

Betonun normal özelikleri dışında yüksek sıcaklığa dayanıklılık veya X ve γ ışınlarını geçirmeme gibi özeliklere sahip olması istenilen durumlarda özel agregalar kullanılır. Barit gibi ağır agregalar da X ve γ ışınlarından korunmak için kullanılan ağır ve özel agregalardır (Postacıoğlu, 1986, s. 232).

Türkiye'de barit ($BaSO_4$, baryum sülfat) ilk kez 1945 yılında Muş dağlarında bulunmuş (URL-4), barit madenciliği, birçok ilde bulunan barit kaynakları ile 1964 yılından sonra gelişme göstermiştir (Topçu, 2003). Türkiye barit yatakları Antalya, Konya, Isparta, Kütahya, Muş, K. Maraş, Trabzon, Giresun, Gümüşhane, Bitlis ve Diyarbakır illerinde bulunmakla beraber büyük bir kısmı Konya, Antalya ve Muş illerinde yer almaktadır. Türkiye rezervleri hakkında elde kesin rakamlar olmamakla beraber 20 milyon ton görünür muhtemel, 20 milyon ton mümkün olmak üzere 40 milyon ton civarında bir rezervin olduğu kabul edilebilir. Ayrıca buna 20 milyon tonluk bir potansiyel rezervinde ilave edilmesi mümkündür. Bu durumda Türkiye'nin Dünya rezervleri içindeki payının %4 civarında olduğu kabul edilebilir (Kılınçarslan ve diğ, 2011; URL-2). Çizelge 2.2'de Türkiye barit rezervleri ve yerleri verilmiştir (Ünal ve diğ, 2014).

Çizelge 2.2: Türkiye barit rezervi.

İLLER	Görünür Rezerv	Görünür Rezerv + Muhtemel Rezerv (x1000 ton)	Toplam (x1000 ton)
ISPARTA/Şarkikaraağaç	3000	10000	13000
KONYA/Beyşehir	12835	-	12835
ESKİŞEHİR/Sivrihisar	4700	4700	9400
MUŞ	755	3050	3805
ANTALYA/Gazipaşa	750	2800	3550
GİRESUN/Tirebolu	-	2500	2500
GİRESUN/Dereli	28	2000	2028
ANTALYA/Alanya	1346	533	1879
KONYA/Doğanhisar	50	50	100
KONYA/Karaman	10	-	10
Diğer İller	679	1135	1814
TOPLAM	24153	26768	50921

Barit ilk olarak beyaz boya üretiminde dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır (Topçu, 2003). Literatüre bakıldığında barit agregası yapı malzemesi olarak kullanıldığında çoğunlukla radyoaktif ışınları engellemek amacıyla ağır beton üretiminde kullanılmaktadır (Kılınçarslan ve diğ, 2007; Topçu, 2003; Witte ve Backstrom, 1954).

Bunun nedeni barit agregalarının özgül ağırlığının genellikle 4 gr/cm^3 'ten fazla olmasıdır ve metalik olmayan minerallerin en ağır olanıdır. Baritin sertliği 2.5–3.5 arasında olup erime noktası 1580°C' dir. Saf barit, %65.7 BaO ve %34.3 SO_3 içermektedir. Genellikle renksiz, beyaz, sarı veya gridir. Barit genellikle kireç kayalarının kurşun-çinko damarlarında, hematit cevheri ile sıcak bağlanma yataklarında oluşur. Genellikle anglesit ve celestine mineralleri ile bulunur (Binici ve Aksogan, 2016).

Beton üretiminde, kumun barit tozu ile değiştirilmesi, betonun basınç dayanımını olumsuz yönde etkilememiş, kum haldeki barit rötreyi azaltmıştır (Saidani ve diğ, 2015). Topçu'nun (2003) çalışmasında farklı su-çimento-barit agregası oranlarıyla hazırlanmış numuneler 24 saat boyunca %98 bağıl neme sahip 20 °C'lik kürleme odasında tutulduktan sonra 27 gün boyunca kireçle doymuş suda muhafaza edilmiştir. Çimento miktarı, her bir numune için 350 kg/m^3 olarak sabit kabul edilmiş, su miktarı artırılarak agrega miktarı azaltılmıştır. Sonuç olarak, su/bağlayıcı oranı 0.4 olan (140 kg/m^3 su-350 kg/m^3 çimento- 2876 kg/m^3 barit agregası) beton en yüksek mukavemeti göstermiştir. Agregaların, ağır betonda ağırlığı nedeniyle ayrışma riski oluşturduğu belirtilmiş, bunu önlemek için, karışım süresinin mümkün olduğunca düşük tutulması ve daha ince agregaların kullanılması önerilmiştir. Ayrıca geleneksel barit betonu ile yüksek basınç dayanımı elde edilebilmiştir (Witte ve Backstrom, 1954). Esen ve Yılmazer'in (2010) çalışmasında barit ($BaSO_4$) agregası ile üretilen betonun bazı fiziksel ve mekanik özelikleri analiz edilmiştir. Deneyler için hacimce %0, 10, 20, 30, 40 ve %50 oranında barit agregası içeren 6 seri beton hazırlanmış ve normal beton ile barit betonu için deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak barit oranının artmasıyla birim hacim ağırlığının ve elastiklik modülünün arttığı, betonun su emme oranının ve çekme dayanımının azaldığı görülmüştür.

Literatür araştırmasından edinilen bilgiler doğrultusunda barit agregası, radyoaktif ışınları kesmek için çimento ile ağır beton üretiminde (Topçu, 2003), boya ve kağıt üretiminde dolgu maddesi olarak (Binici ve Aksogan, 2016) kullanılmaktadır. Ayrıca, barit mineralleri kompozitlere ağırlık sağlayarak ses yalıtımı sağlamaktadır (Ersoy, 2019). Bir malzemede ses iletim kaybı değeri, kütle yasasına göre, kütle ne kadar büyükse, malzemenin titreşimi o kadar zor olmaktadır. Bu da malzemenin daha iyi ses yalıtımına sahip olacağını göstermektedir. Buna göre baritin LC^3 bağlayıcılı harçlarda

ses yalıtımı yüksek malzeme üretiminde kullanılabilme olasılığı çalışma kapsamında araştırılmıştır.

2.1.3 Atık kauçuk lastik agregası

Türkiye'de yaklaşık 200 bin ton ömrünü tamamlamış atık kauçuk otomobil lastiği oluşmaktadır (Yakaboylu, 2010). Her yıl ABD'de ve Avrupa'da 2-3 milyar lastik hurdaya atılmaktadır. İngiltere'de yılda yaklaşık 40 milyon lastiğin atıldığı tahmin edilmektedir. Bertaraf seçeneklerinin azaltılması ve üretimin artırılmasıyla, kullanılmış lastiklerin hacmi büyük bir atık yönetimi sorunu haline gelmiştir. Depolanan lastikler, hava, su ve toprak kirliliği nedeniyle birçok sağlık sorunlarına, çevresel ve ekonomik risklere yol açmakta, doğayı kirletmektedir. Bu nedenle çalışma kapsamında atık kauçuğun yapı malzemesi olarak değerlendirilebilme imkanı önem kazanmıştır. Atık lastik veya kauçuğun özellikle ses yalıtımını artırma amacıyla kullanıldığı çalışmalar bu bölümde irdelenmiştir.

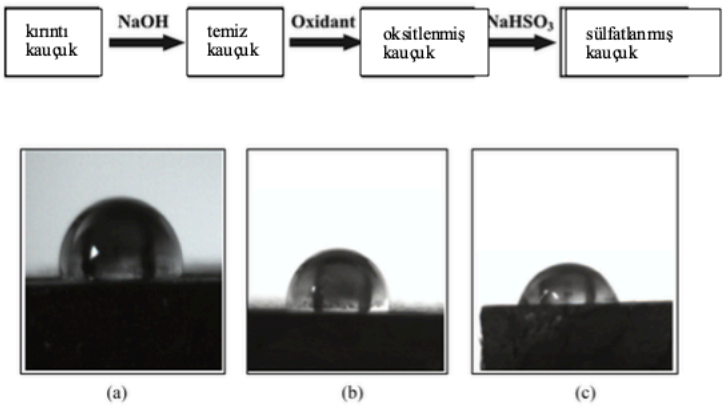
Holmes ve diğerlerinin (2014) çalışmasında kauçuk parçalarıyla oluşturulmuş beton (Crumb Rubber Concrete) panellerin, düşük (63, 125, 250 ve 500 Hz) ve yüksek (1000, 2000, 4000 ve 5000 Hz) frekanslardaki ses yutumu ve yalıtımı açısından akustik performansı incelenmiştir. Kauçukların farklı oranlarda (%7.5 ve %15) ince agrega yerine ikame edilmesi ile akustik testler yapılmıştır. Betonun işlenebilirliği, basınç dayanımı ve yoğunluk testleri de ayrıca incelenmiştir. Sonuçta, özellikle daha yüksek oranlarda (%15) kauçuk parçalarıyla oluşturulmuş kauçuk katkılı betonun ses yutuculuğu açısından daha iyi performans gösterdiği bulunmuştur. Tüm betonlar için ses yalıtım performansının yüksek frekanslarda geliştiği bulunmuştur.

Li ve diğerlerinin (2020) çalışmasında ekolojik agregalar olarak kullanılan kauçuk atıklarının, taze ve sertleşmiş harç ve beton üzerindeki etkileri ile mukavemetleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Genel olarak harçların özeliklerinde kauçuk agregasının etkisinin agrega dane boyutu ve ikame seviyesine bağlı olduğu görülmüştür. Kauçuk eklentisi yapılan numuneler kaldırım taşı, sesi kontrol eden gürültü bariyerleri veya deprem şok dalgası emicisi olarak kullanılmaktadır. Çizelge 2.3'te atık kauçuk ve doğal agregalara ait fiziksel özelikler yer almaktadır.

Çizelge 2.3: Agregaların fiziksel özelikleri (Li ve diğ, 2020).

Agrega Türü		Birim Hacim Ağırlık (gr/cm^3)	Su Emme 24 s (%)	Özgül Ağırlık (gr/cm^3)
Atık Kauçuk	Kauçuk	0.044	0.80	1.01
	Soğutulmuş Kauçuk	0.046	1.30	1.07
Doğal Agrega	Çakıl	1.624	1.32	2.79
	Kum	1.656	1.80	2.65

Li ve diğerlerinin (2020) çalışmasında kauçuk agregaları ile oluşturulmuş harçlarda fiziksel ve mekanik özelikleri iyileştirmek için, kauçuk agregasının kimyasal yöntemle ön işlemlerden geçirilmesi önerilmiştir (Şekil 2.5). NaOH çözeltisi işlemi, kauçuk parçacıklarının etrafında zayıf bir alkali ortamı oluşturduğundan, hidrolik iletkenlik, kauçuk/çimento su aktarım hızı ve ara yüzdeki hidratasyon için faydalıdır. Bu kimyasal işlem kauçuk/çimento adezyonunu iyileştirmektedir. Araştırmacılar, kauçuk ve çimento arasında daha güçlü bir kimyasal bağ oluşabilmesi için kauçuk yüzeyine sülfatlama ön işlemi yapılarak adezyonun daha da artırılabileceğini söylemişlerdir.



Kimyasal işlem öncesi temas açısının testi (a), kimsayal işlemden sonra orijinal kauçuk (b), oksitlenmiş kauçuk (c) ve sülfatlanmış kauçuk

Şekil 2.5: Kauçuk tozunun ön işlem aşamaları (Li ve diğ, 2020).

Çalışmada (Li ve diğ, 2020) kauçuk agregasının taze harcın işlenebilirliğine etkisi incelendiğinde kauçuk agregasının, miktarına ve dane boyutuna bağlı olarak işlenebilirlikte azalmaya neden olduğunu belirtmişlerdir. Kauçuk agregasının sertleşmiş harcın yoğunluğuna etkisi incelendiğinde; dere kumu yerine hacimce %10, 20, 30, 40 oranlarında atık kauçuk agregası kullanıldığı zaman yoğunlukta sırasıyla %17, 18, 21, 28 oranlarında azalma gözlendiğini belirtmişlerdir. Bu azalmanın nedeni atık kauçuk agregası yoğunluğunun (0.51-1.2 gr/cm^3) dere kumu agregası yoğunluğunun neredeyse yarısı olmasıdır. Kauçuk agregasının basınç dayanımına etkisi incelendiğinde kauçuk agregalarının düşük sertliğinin ve düşük mukavemetinin, harçlardaki mukavemet azalmasının ana nedeni olduğu düşünülmüştür. Mukavemet,

betonda kullanılan kauçuk agregasının miktarından, boyutundan ve şeklinden de etkilenmektedir. He ve diğ. (2016) ayrıca atık kauçuğun $KMnO_4$ ve $NaHSO_3$ çözeltileri ile işlem görmesinin kauçuğun beton dayanımı üzerindeki olumsuz etkisini geciktirebileceğini de kanıtlamışlardır. Sonuçlar %4 işlem görmüş kauçuk ile oluşturulmuş betonun basınç dayanımının, işlem görmemiş kauçuk ile oluşturulmuş betondan % 48.7 daha yüksek olduğunu göstermiştir. Guo ve diğerlerinin (2017) çalışmalarında, farklı yüzey işlemi ve kaplama yöntemleri kullanılarak kauçuk agregalı betonun mekanik etkiler altındaki performansının artırılması amaçlanmaktadır. Özellikle, kauçuk-çimento aderansını artırmak için kauçuk yüzeyine iki farklı işlem yöntemi (NaOH ve Silan Bağlayıcı Maddesi) ve üç farklı kaplama tekniği (normal çimento ile kaplanmış, silis dumanı katılmış çimento ve harmanlanmış çimento artı sodyum silikat) kullanılmıştır. Basınç ve eğilmede çekme dayanımının, harca eklenen kauçuk agregası ile azaldığı bilinmektedir. Bu azalmaya, kauçuk agregasının hidrofobik yapısı ve kauçuk parçacıkları ile çimento bağlayıcı arasındaki rijitlik farkı (Shu ve Huang, 2014) neden olmaktadır. Kauçuk agregasının hidrofobik (su itici) yapısı, kauçuk agregası ile çimento bağlayıcı arasındaki kusurlu aderansa neden olduğundan belirli bir yük altında çatlakların kolayca ortaya çıkmasına yol açmaktadır. Eklenen kauçuk parçacıklarının gevrek çatlamayı önlediği ve betonun sünekliğini iyileştirdiği bulunmuştur. Segre ve Joekes (2000) NaOH ile işlem görmüş ve işlem görmemiş kauçuk parçacıkları ile numuneler hazırlamışlar ve bu numunelerin mekanik performanslarını karşılaştırmışlardır. NaOH işlemi sonrası aşınma direnci ve tokluğun arttığı bulunmuştur. NaOH ile işlem görmüş kauçuk parçacıkları ve çimento arasındaki daha kuvvetli aderans, SEM analizi ile teyit edilmiştir. Fadiel ve diğ. (2014) kauçuk agregasının harcın su emiciliğine etkisini inceleyerek farklı boyutlarda ve farklı miktarlarda kauçuk agregalı beton karışımlarının su yutuculuğunu değerlendirmişlerdir. %10 ve %20 oranlarında kauçuk agregasına sahip numuneler, su emiliminde bir azalma sergilerken, %30 ve %40 kauçuk agregasına sahip olanlar, kauçuk boyutundan bağımsız olarak daha yüksek su emilimi göstermişlerdir. Girskas ve Nagrockienė (2017) daha küçük boyutlu kauçuk agregasının betonun su emmesi üzerindeki etkisinin, küçük parçacıkların dolgu etkisi yaratması nedeniyle daha belirgin olduğunu belirtmişlerdir. Daha ince daneli kauçuk agregasının, nispi gözenek ve kılcal duvar kalınlığını azaltabileceği sonucunu çıkarmışlardır. Issa ve Salem (2013), kauçuk agregalı betonun ses yutuculuk kabiliyetini değerlendirmek için ses dalgasının ultrases hızı değerini incelemişlerdir. Daha uzun ilerleme süresi değeri daha

iyi ses yutma kabiliyeti göstergesi olduğundan kauçuk içeriği arttıkça betonun ses yutuculuk kabiliyetinin arttığı bulunmuştur. Topličić-Ćurčić ve diğ. (2014) tarafından yapılan deneylere göre, %20 ve %30 kauçuk agregası ile oluşturulmuş beton için ses dalgası hızı sırasıyla %14 ve %21 azalmıştır. Benzer sonuç Khaloo ve diğ. (2008) ile Guo ve diğerlerinin (2017) çalışmalarında da görülmüştür. Kauçuktaki metil grubunun akustik dalgaları zayıflatabildiğini ve kauçuk agrega karışımlarının daha yüksek ses yutuculuk sonucu verdiğini belirtmişlerdir.

Sukontasukkul'un (2009) çalışmasında, atık kauçuk agregası eklenerek üretilmiş beton panelin termal ve akustik özelikleri araştırılmış ve prekast betonla karşılaştırılmıştır. Yerel bir geri dönüşüm tesisinde kullanılmış lastiklerden üretilen atık kauçuk agregası, %10, %20 ve %30 oranlarında ince agreganın yerine ikame edilmiştir. Farklı frekanslarda ses yutuculuk ve gürültü azaltma özelikleri araştırılan çalışmada atık kauçuk agregası ile oluşturulmuş beton panelin sadece daha hafif değil, aynı zamanda geleneksel beton panelden daha yüksek ses yutuculuk özeliğine sahip olduğu görülmüştür.

Diğer hafif agregalı betonlardan farklı olarak, karışıma atık kauçuk ilavesi boşluk oranını düşürmüştür. Genel olarak, geleneksel hafif betondaki gözeneklilik, gözenekli agregaların veya çimento harcındaki boşlukların mevcut olması nedeniyle yüksektir. Atık kauçuk agregası kullanılırken, malzemenin açık gözenekliliği kauçuk içeriğinin artmasına bağlı olarak azalmıştır. Bunun nedeni, atık kauçuğun gözenekli bir malzeme olmamasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, harcın uygun karılması ve yerleştirilmesi ile beton daha düşük boşluk oranına sahip olabilmektedir.

125 ve 250 Hz'lik düşük frekans aralıklarında gerek kum agregalı beton gerek kauçuk agregalı beton benzer ses yutuculuk değerleri sergilemişlerdir. Bununla birlikte, orta frekansta (500 Hz), kauçuk agregalı beton biraz daha yüksek ses yutuculuk değerleri göstermeye başlamıştır. 1000 Hz'den yüksek frekanslarda, tüm kauçuk agregalı hafif betonların sesi yutma kabiliyetinin, kum agregalı betondan çok daha iyi olduğu bulunmuştur. Bu durum, kauçuk agregalı betonun yüksek frekans aralığında kum agregalı betondan daha iyi bir ses yutucu olduğunu ve ortalama %36 daha iyi ses direnci özeliklerine sahip olduğunu göstermektedir.

Literatür araştırmasından edinilen bilgilere göre atık kauçuk agregasının malzemedeki açık gözenekliliği azaltarak daha dolu yapı elde edilmesini sağladığı, özellikle yüksek

frekanslarda ses yalıtımı açısından etkili bir malzeme olarak kullanıldığı görülmektedir. Ayrıca kauçuk agregalı harçlara mekanik dayanımı artırmak amacıyla kimyasal ön işlem yapıldığı çalışmalar incelenmiş ancak bu tez çalışmasında kauçuk agregasına bir ön işlem uygulanmamıştır. Bu çalışmanın amacı ses iletim kaybı değeri yüksek bir malzeme geliştirmek olduğundan harcın bir yapı malzemesinden beklenen yeterli dayanıma sahip olması amaçlanmıştır. Literatürde atık kauçuğun akustik dalgaları zayıflatabildiğine sıklıkla rastlanmış ve malzemede rijitlik kontrolünü sağlaması amacıyla LC^3 bağlayıcısı ve barit agregası ile oluşturulan harçlarda 0-8 mm atık kauçuk agregası kullanılmıştır.

2.2 Sesin Tanımı ve Ses Yalıtımı ile İlgili Literatür Araştırması

Doktora tezinin bu bölümünde, sesin tanımı ve ses yalıtımı hakkında genel bilgi verilecektir. Ses yalıtımı "Hava Doğuşlu Ses Yalıtımının Belirlenmesi", "Ses Yalıtımının Ölçülmesi ve İlgili Standartlar" ve "Ses İletim Kaybı Değerinin Tek Sayılı Değerlere Çevrilmesi" alt başlıklarında irdelenecektir.

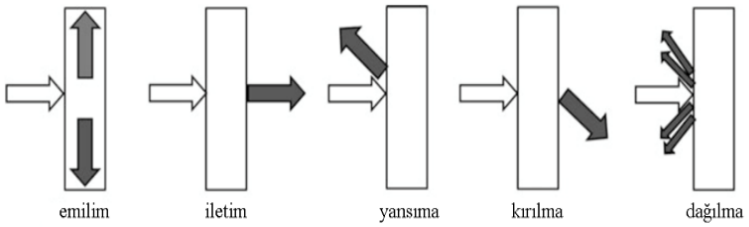
2.2.1 Sesin tanımı ve hava doğuşlu ses yalıtımı

Sesi işitme hali, çevre ile iletişim kurmada ve duyusal ortam oluşturmada önemli rol oynar. Ses, fizikteki diğer mekanik dalgalara bilimsel olarak benzer bir şekilde tanımlanabilen bir dalgadır.

Bir ses dalgası frekansı, sesin dalga boyu ve genliği ile ilişkilidir. Bir kaynaktan bir saniyede üretilen dalga sayısı ne kadar fazla ise sesin frekansı o kadar büyük olur. Dalga sayısının artması frekansı artırır, frekansın artmasıyla ses incelir. Dalga sayısının azalması frekansı azaltır ve ses kalınlaşır. Bir cisim ne kadar hızlı titreşirse o kadar yüksek frekanslı ses üretir. Frekansın birimi Hertz (Hz)'dir. Hz, 1 sn. deki titreşim sayısını ifade eder. Ses dalgasının en yüksek (tepe) noktası ve en düşük (çukur) noktası arasındaki mesafenin yarısı genlik olarak adlandırılır.

Ses bilimi, katı, sıvı ve gazlar gibi çeşitli ortamlarda mekanik dalgaların yayılmasıyla uğraşır. Akustik dalgaların yayılması için mekanik olarak esnek bir ortam gerekir ve bu nedenle elektromanyetik ışık dalgalarının aksine, havanın olmadığı boşlukta (vakum) hareket edemez. Ses en hızlı katı maddelerden, sonra sıvılardan, en yavaş gazlardan geçer (Schiavonia ve diğ, 2016).

Ses, bir kaynaktan çıkan ve radyal olarak bir engele ulaşana kadar yayılan elastik bir ortamdaki titreşim olarak tanımlanabilir. Ses enerjisi bir nesneyle karşılaştığında yüzeyden yutulabilir, iletilebilir, yansıyabilir, kırılabilir veya dağılabilir. Yansıtılamayan sesler emilmiş veya yutulmuş sesler olarak değerlendirilir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6: Malzeme veya nesne yüzeyi ile ses dalgası etkileşimi (Kadam ve Nayak, 2016).

Ses yalıtımı söz konusu olduğunda da ses yutuculuk önemli bir olgu olmaktadır Tüm ses dalgaları alıcı tarafından yutulduğunda kapalı alanın ses yalıtımının da sağlandığı söylenebilir (Kadam ve Nayak, 2016). Bu bağlamda yutuculuk kavramı ses yalıtımının incelendiği literatür araştırmasına dahil edilmiştir.

Ses yalıtımı, yapı elemanları aracılığıyla iletilen seslerin düzeylerini azaltmak için alınan bütün önlemleri içerir (Yılmaz Demirkale, 2007). Yapı elemanının yalıtım değerini belirleyen ses azaltımı, yapı elemanına çarpan ses enerjisinin yansıtılması ve yutulması sonucu belli bir miktarının iletilmesiyle oluşur. İletim miktarını belirleyen yansıma ve yutulma olaylarında etkili olan parametreler; yapı elemanının pürüzlülük oranı, yansıtma katsayısı, ses yutuculuk katsayısı, elemanın karakteristik empedansı, elemanın biçimi ve boyutları gibi fiziksel özeliklerinin yanı sıra; yapı elemanına çarpan sesin dalga boyu, frekansı, dalga genliği, ses basınç düzeyi, eleman yüzeyine çarpış açısı gibi sese ait özeliklere de bağlıdır (Baççıoğlu, 2017, Vèr ve Beranek, 2006).

Bir malzemedeki ses geçirimsizlik özelliği, malzemenin iki tarafındaki ses basıncının seviye farkına bağlıdır. Gürültüye karşı etkin planlama yapılmamış binalarda yutucu elemanların kullanımı ne ekonomik ne de etkilidir. Sesin denetim altına alınması için sesin yayılmasını incelemek gerekir. Ses yayılma yollarına göre hava doğuşlu ve katı doğuşlu olarak ikiye ayrılır. Sesin hava doğuşlu ya da katı doğuşlu oluşu ses yalıtımında öncelikle dikkate alınmalıdır çünkü buna göre alınacak önlemler farklılık gösterir. Hava doğuşlu seslerin ölçümleri laboratuvarda veya yerinde yapılabilir.

Gelen sesin kesilmesi tekniği, gürültü kontrolü için yaygın yöntemlerden biridir. Bir malzemenin yalıtım özelliği genellikle bir akustik fiziksel terim olan Ses İletim Kaybı (*Sound Transmission Loss- STL*) değeri (dB) ile veya Ses Azaltma İndeksi-SRI (*Sound Reduction Index, R*) (dB) ile değerlendirilir. Ses azaltma indisi R ya da ses geçiş kaybı TL bir yapı elemanının laboratuvar ölçümü ile elde edilen ses yalıtım değerini ifade eder. R ya da TL, belirli bir frekanstaki ses şiddetinin tek bir malzeme ya da katmanlardan oluşan bir eleman tarafından ne düzeyde azaltılabildiğini tarif eder. TL, belirli bir ya da 1/3 oktav frekans bandında bölücü tarafından engellenen sesin desibel (dB) cinsinden miktarıdır. Örneğin 2.5 cm kalınlığındaki alçı panelin 125 Hz'teki STL değeri 15 dB'dir. R, tek bir malzeme ya da katmanlardan oluşan bir elemanın bir yüzeyine çarpan ve diğer tarafında ölçülen ses şiddetleri (dB) arasındaki farkın tek bir indeks ile tarif edilmesidir. Örneğin bir bölücü duvarın R değerini artırmak için bölücü duvara esnek dikmeler, dikmelerin iki yüzüne iki tabakalı alçı panel uygulaması ve dikmeler arasında mineral yün şiltesi konulabilir. Sahada oluşan farklı iletimler sonucu ölçülen değerler; bölücü elemanın alanına ve odanın toplam yutuculuğuna bağlı olarak hesaplanan görünür ses azaltım indisi R′ veya alıcı odanın çınlama karakteri hesaba katılarak bulunan standartlaştırılmış seviye farkı D_nT göstergeleri ile gösterilmektedir. Bu göstergelerin değerleri, malzeme ve yapı elemanlarının gerçek ses yalıtım performansları farklı frekanstaki sesler için farklı olduğundan, frekansa göre değişmektedir. Bu nedenle uygulamada gösterim kolaylığı için göstergelerin ağırlıklandırılmış tek sayılı yalıtım değerlendirme birimleri oluşturulmuştur. Tek sayılı değerler ilgili göstergelerin, İngilizce ağırlıklandırılmış anlamına gelen, w (weighted) harfi ile R_w, R'_w, D_nT_w şeklinde gösterilir. Bu sayede bir yapı elemanı ya da malzemesinin ses yalıtım değeri tek bir değer ile desibel cinsinden ifade edilebilir. Ses İletim Sınıfı (Sound Transmission Class, STC), ASTM E413–10 (2016) standardına göre, Ağırlıklı Ses Azaltma İndeksi (Weighted Sound Reduction Index, R_w) ise TS EN ISO 717-1'e (2013) göre laboratuvar testlerinde kullanılan hava doğuşlu sesin yalıtım performansını tarif etmektedir. Ağırlıklı Standardize Edilmiş Düzey Farkı (Weighted Standardized Level Difference, D_nT_w) büyüklükleri genellikle saha testlerinde kullanılmaktadır ve kaynak ve alıcı odalarının birinde çınlama süresine bağlı olarak ortalama oluşan ses basınç seviyesi de dikkate alınmaktadır. Göstergelerin tanımı, değerlendirmesi ve ülkeler arası karşılaştırmalar için ilgili kaynaklar incelenebilir (ASTM-E413-10, 2016; TS EN ISO 717-1, 2013; TS EN ISO 717-2, 2013). Tüm bu değerler yapı elemanına gelen ses şiddeti ile iletilen ses şiddeti arasındaki azaltımı

ifade etmekte olup frekansa bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bir laboratuvarda değerlendirilen ses geçirmezlik etkisi, STL değeri arttığında artmaktadır. Bir bölücünün ses kesicilik etkisi ile ses dalgasının frekansları arasında güçlü bir ilişki vardır. Aynı malzeme, farklı frekanslarda farklı ses iletim kaybı değerleri gösterebilir (Zhao ve diğ, 2010).

Çok aileli bir konutta oturan kişinin komşulardan gelen gürültüden rahatsız olup olmadığını belirlemede üç etkileşimli fiziksel faktör önemlidir. Bunlar, yan duvarların veya zeminlerin ses iletim kayıpları, komşu evlerde üretilen gürültü seviyesi ve oturanın kendi evindeki arka plan sesi seviyesidir. Son iki faktör büyük ölçüde değişebilir ve çoğu durum için optimum yalıtım sağlayacak bir STL değeri seçilmelidir. Bu STL değeri seçilirken, rahatsızlığa alışılmadık derecede gürültülü bir komşu veya alışılmadık derecede düşük veya yüksek arka plan ses seviyelerini neden olduğu durumlar kabul edilmelidir. Arka plan sesinin seviyesi yeterince yüksekse, kontrolsüz iletilen sesler maskelenir ve algılanamaz. Öte yandan, arka plan gürültüsü aşırı derecede yüksekse uykuya, rahatlamaya ve hatta konuşmaya engel olabilir. Dünya çapındaki deneyimler, çok aileli konut sakinlerinin makul bir akustik mahremiyet derecesine sahip olmaları için konut birimleri arasındaki etkin STL değerinin en az 55 dB olması gerektiğini göstermektedir.

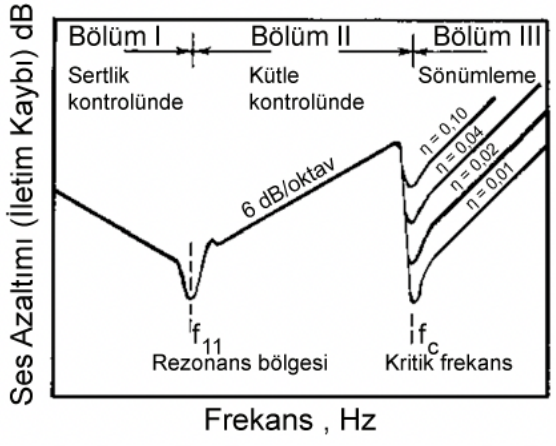
Tek tabakalı elemanlarda hava doğuşlu ses yalıtımı frekanslara bağlı bölgelere göre değerlendirilir. Rijitlik/sertlik kontrolü Bölge I, kütle kontrolü Bölge II, sönümleme kontrolü Bölge III olarak adlandırılır. Her bölgede etkili parametreler ve malzeme özelikleri çeşitli hesap yöntemleriyle birlikte aşağıdaki alt başlıklarda açıklanmıştır.

Tek tabakalı elemanlarda ses yalıtımı

Ses dalgası bir elemana çarptığında, ses enerjisi yapı elemanında çeşitli rezonanslara girmektedir. Sesin farklı tip dalgalara dönüşerek eleman içinde yayılması sonucu ses iletilmektedir. Bu konuda ilk çalışmalar 1940'larda L. Cremer tarafından yapılmıştır. Yanal iletimler ve sızıntılar ihmal edildiğinde, iki ortamı ayıran bir yapı elemanından ses geçişinin temel mekanizması ses kaynağının elemanın kaynak odadaki yüzeyini titreştirmesi, bu titreşimin duvar üzerinden öbür yüzeye aktarılması ve bu yüzeyin alıcı odaya titreşerek ses yayması seklinde olur. Eğer bu iki yüz birbirine rijit bir şekilde bağlı ve bir bütün olarak titreşiyorsa (tek tabakalı eleman) ses azaltımı sadece sesin frekansı ile elemanın birim yüzey kütlesi, rijitliği ve iç sönümlemesine bağlıdır. Eğer

bölme elemanı birbirinden bir boşlukla ayrılıyorsa veya iki ya da daha fazla elemandan oluşuyorsa (çift tabakalı eleman) ses azaltımı elemanların özelliklerinin yanı sıra, boşluğun büyüklüğü ve yutuculuğuna da bağlıdır (Hassan, 2009).

Ses iletim kaybı (veya geçiş kaybı) tahminlerinde çoklu modeller kullanılır (Aksoylu ve diğ, 2016; Ghosh Roy ve diğ, 2007; Wang ve diğ, 2011). Bunun nedeni, tipik iletim kaybı frekans eğrisinin, frekans aralıklarıyla sınırlanan belirli parçalara bölünmesidir. Panelin her iki tarafında ortamın aynı olduğu ve panelin çok ince olduğu kabul edilirse homojen bir duvar veya panelin ses iletim kaybının frekansa bağlı değişimi Şekil 2.7'de gösterildiği gibidir.



Şekil 2.7: Homojen bir duvar veya panel için ses iletim kaybının frekansa bağlı genel ses azaltım indisi değişimi (Yılmaz Demirkale, 2008).

Ses dalgaları ve yapı elemanının etkileşimi frekansa göre değiştiğinden her bir frekans bölgesinde etkili olan belirli malzeme özelikleri vardır. Ses yapı içinde farklı tipte dalgalara dönüşmektedir. Panel şeklindeki yapı elemanlarında ses iletiminde en etkili dalga tipi eğilme dalgalarıdır. Eğilme dalgalarının azaltımı eğilme sertliğine bağlıdır (K). Eğilme sertliği ise malzemenin elastiklik modülüne (E) ve elemanın kalınlığına (d) bağlıdır. Yapı elemanına gelen ses dalgasının frekansı, yapı elemanının boyutlarına bağlı boyuna dalga frekansıyla çakışırsa rezonansa neden olur. En düşük rezonans frekansının ($f_{m,n}$; m=1,n=1) altında ses azaltımında rijitlik etkili olur. Yani malzemenin rijitliği, numunenin doğal frekansa (f_{11}) kadar olan ilk frekans bölgesini belirler. İletim kaybı bu bölgede oktav başına 6 dB olarak neredeyse lineer olarak azalır (Ghosh Roy, 2007). Bu bölgedeki diğer fiziksel özeliklerdeki değişimin iletim kaybı değeri üzerindeki etkisi ihmal edilebilir.

Eğrinin davranışı, doğal ve kritik frekanslar (f_{11} ve f_c) arasındaki frekans aralığında malzemenin kütlesi ile belirlenir. Yani en düşük rezonans frekansının yaklaşık iki katının üstünde kütle etkili olur. Kütle etkisindeki ses azaltımı yapı elemanının kritik frekansına (f_c) kadar geçerlidir. Kritik frekansta elemana çarpan dalgalar ile diğer tarafa yayılan serbest eğilme dalgaları arasında geometrik çakışma gerçekleşir. Kritik frekans, artan frekansla birlikte iletim kaybı değerinin lineer artışının azalmaya başladığı ve eğrinin lineer formunun bozulduğu bir frekanstır. Güvenilir iletim kaybı değeri tahmini için kütle kontrollü bölgeyi kullanarak kritik frekansın elde edilmesi yararlı olur. Son olarak, iletim kaybı eğrisinin kritik frekansın üzerindeki frekanslarda oluşan kısmına çakışma bölgesi denir. Çakışma bölgesinin ilk frekanslarında ani bir iletim kaybı değeri düşüşü meydana gelir. Bu duruma havadaki dalga hızının elemanın eğilme dalga hızına eşit olması ve dalgaların çakışması sebep olur. Bu nedenle çakışma frekansı olarak da adlandırılır. Daha sonra iletim kaybı frekansla birlikte neredeyse doğrusal olarak oktav başına 10 dB kadar artar (Ghosh Roy, 2007). Bu bölgede malzemenin sönümleme özelikleri baskındır.

Bölge 1: Rijitlik/sertlik kontrolündeki bölge

Düşük frekanslarda, duvar veya panel bir bütün olarak titreşir ve panelden ses iletimi, öncelikle panelin rijitliği tarafından belirlenir. Bu bölgede kütle ve sönümlemenin etkisi çok küçüktür.

Ses gücü iletim katsayısı τ, aynı ara yüzde, iletilen ses gücünün (W_{tr}) gelen ses gücüne (W_{in}) oranıdır. Bölge 1 için ses azaltım indisi (R), rijitlik katsayısına (k_s) bağlı olarak aşağıdaki denklemler (2.1, 2.2, 2.3) ile ifade edilir:

$$R = 10\ log\ (\frac{1}{\tau}) = -20\ log\ K_S - 10log\{ln(1 + (K_S)^{-2})\} \qquad (2.1)$$

$$\tau = K_s{}^2 ln(1+K^{-2}) = -K_s{}^2 ln\tau_n \qquad (2.2)$$

$$K_s = \frac{2\omega\rho_0 c}{k_S} \qquad (2.3)$$

R: Ses azaltım indisi,

τ : Ses azaltım katsayısı,

K_s : rijitlik katsayısına bağlı değer

ω : Açısal frekans,

ρ_0 : Havanın yoğunluğu,

Düşük frekanslarda, frekans arttıkça malzemenin R değeri azalmaktadır. Panelin sonlu bir rijitliği varsa, panele etki eden net kuvvet, panelin "yay kuvvetine" eşittir. Malzemenin rijitliği, bir malzemenin dış bir kuvvet tarafından etki edildikten sonra orijinal formuna geri dönme yeteneğinin ölçüsüdür. Malzemenin dış kuvvetlere direnme ve yine de orijinal formuna dönme yeteneğini ifade eder. Elastiklik Modülü (E) büyük olan malzemeler rijit/sert malzemelerdir. Özgül rijitlik (specific stiffness) malzemenin elastiklik modülünün (Young modülü) malzemenin birim hacim kütlesine (yoğunluk) bölünmesi ile elde edilir ve "özgül elastiklik modülü" olarak da adlandırılır ve şu formülle bulunabilir (2.4):

$$E' = \frac{E}{\rho} \tag{2.4}$$

E' – Özgül elastiklik modülü, (Pa. m^3/ kg ya da N.m/kg);

E – Elastiklik modülü, (Pa ya da $N \cdot m^{-2)}$;

ρ –Yoğunluk, (kg/m^3 ya da kg · m^{-3}).

Rezonans Frekansı

Gelen ses dalgasının frekansı arttıkça bölücü panel, rezonans frekansları adı verilen bir dizi frekansta rezonansa girecektir. R değeri farklı rezonans frekanslarına bağlı olarak en düşük değerine ulaşır. Bu alan rijitliğin/sertliğin etkili olduğu bölge ile kütle kanununun etkili olduğu bölgeler arasındadır. Yani en düşük rezonans frekansı Bölge I ve Bölge II arasındaki geçişi göstermektedir. Rezonans frekansları, panelin boyutlarına bağlıdır. a ve b boyutunda, h kalınlığında dikdörtgen bir panel için, rezonans frekansları aşağıdaki ifade ile verilmektedir (2.5) (Young ve diğ, 2012):

$$f_{m,n} = (\pi c_L h/(4\sqrt{3})\{(1/a)2 + (1/b)2\} \tag{2.5}$$

m ve *n* çarpanları 1, 2, 3 gibi tamsayılardır. Bu formülde (2.5) m ve n "1" olarak kabul edilmiştir. c_L, panel malzemesindeki boylamsal ses dalgalarının hızını temsil etmektedir, birimi m/sn'dir ve aşağıdaki formülle hesaplanabilir (2.6):

$$c_L = \sqrt{\frac{E}{\rho w(1-\sigma 2)}} \tag{2.6}$$

ρ_w, panelin yoğunluğunu, E malzemenin elastik modülünü, σ poisson oranını temsil etmektedir. Genellikle, en düşük rezonans frekansı (temel frekans) 1. bölgede gerçekleşen en baskın frekanstır. İlk birkaç rezonans frekansındaki iletim kaybının

büyüklüğü, panelin kenarlarındaki sönümlemeye büyük ölçüde bağlıdır. Dairesel bir panel için temel rezonans frekansı (f_{11}) aşağıdaki formüllerle (2.7 ve 2.8) bulunabilir. D çapında ve h kalınlığında dairesel bir panel için aşağıdaki formülle hesaplanabilir (2.7) (Young ve diğ, 2012):

$$f_{11} = \frac{10.2 c_L h}{\pi \sqrt{3}\, D^2} \tag{2.7}$$

$$TL = \begin{cases} 20log\frac{\pi fm}{\rho c} - 5.5 & f \le \frac{f_c}{2};\ \frac{fm}{\rho c} > 1 \\ 20log\frac{\pi fm}{\rho c} + 10log\frac{2\eta f}{\pi f_c} & f \ge f_c;\ \frac{fm}{\rho c} > 1 \end{cases} \tag{2.8}$$

f: sesin frekansı

f_c: kritik frekans

m: ağırlık, kg/m^2

ρ: malzemenin yoğunluğu (kg/m^3)

c: havadaki sesi hızı

η: kayıp faktörü

Yukarıda belirtilen formüllerde (2.7 ve 2.8) kullanılmak üzere malzemelerin ses yalıtım özeliklerini etkileyen, malzemelere ait fiziksel ve mekanik özelikler Çizelge 2.4'te bulunabilir.

Çizelge 2.4: Bazı yapı malzemelerinin fiziksel ve mekanik özelikleri (Cremer ve Heckl, 1973).

Malzemeler	**Yoğunluk (kg/m^3)**	**Elastiklik Modülü (10^8 N/m^2)**	**Ses Hızı (m/s)**	**Kayıp Faktörü (η)**
Asfalt	1.8-2.3	77	1.900	0.380
Tuğla	1.9-2.2	160	3.000	0.020
Mantar	0.12-0.25	0.25	430	0.170
Ağır beton	2.3	260	3.400	0.008
Kum	1.5	-	170	0.120
Cam	2.5	60	4.900	0.002
Alçı levha	1.2	70	2.400	0.006
Hafif beton	1.3	38	1.700	0.015
Meşe ağacı	0.7-1.0	80	3.500	0.010
Kontrplak	0.6	54	3.000	0.013
Gözenekli beton	0.6	20	1.700	0.010

Bölge 2: Kütle kontrolündeki bölge

Birinci rezonans frekansından daha yüksek frekanslar için, panelin ses iletim kaybı panelin kütlesi tarafından kontrol edilir ve panelin rijitliğinden/sertliğinden bağımsızdır. Bu bölgede bir miktar akustik enerji panel üzerinden iletilirken geri kalanı panel yüzeylerinden yansır.

Normal açı ile gelen ses için ses gücü iletim katsayısı aşağıdaki denklem ile bulunur (2.9):

$$\frac{1}{a_{\mathrm{tn}}} = 1 + \left(\frac{\pi f \rho_{\mathrm{w}} h}{\rho_1 c_1}\right)^2 = 1 + \left(\frac{\pi f M_{\mathrm{S}}}{\rho_1 c_1}\right)^2 \tag{2.9}$$

α: ses gücü iletim katsayısı,

f: sesin frekansı

ρ_w: duvarın veya panelin yoğunluğu

h: panelin kalınlığı

m_s: panelin yüzey kütlesi veya birim yüzey alanı başına düşen kütle (yüzey yoğunluğu: kg/m^2)

ρ_1: panelin etrafındaki havadaki ses yoğunluğu

c_1: panelin etrafındaki havanın hızı

m_s aşağıdaki denklem ile bulunur (2.10):

$$m_s = \rho_w h \tag{2.10}$$

Normal açı ile gelen ses dalgası için iletim kaybı, ses gücü iletim katsayısı ile ilgilidir ve aşağıdaki denklem ile bulunur (2.11):

$$\mathrm{TL_n} = 10 \log_{10}(1/a_{\mathrm{tn}}) \tag{2.11}$$

Kütle Yasası

Bir malzemenin havadaki ses iletim kaybını (TL) kontrol eden en önemli fiziksel özelik, bileşeni oluşturan malzemelerin birim alan başına düşen kütlesidir (yüzey yoğunluğu). "Kütle yasası", belirli frekans aralığındaki çoğu malzeme için geçerli olan teorik bir kuraldır ve şu şekilde tahmin edilebilir (2.12):

$$TL = 20 \log_{10} (m_s f) - 48 \tag{2.12}$$

TL: rastgele açıyla gelen ses dalgalarının iletim kaybı değeri

m_s: birim alan başına kütle (kg/m²)

f: ses dalgasının frekansı (Hz)

Birim alan başına kütle (m_s), malzeme yoğunluğu ve kalınlığı ile ilgilidir (yüzey yoğunluğu, kg/m^2). Kütle yasası denklemi ile, tek katmanlı bir duvarın birim alanı başına ölçüm frekansı veya kütlesi her iki katına çıktığında, ses iletim kaybının yaklaşık 6 dB arttığı öngörülebilir. Bir malzemenin ses iletim kaybını tüm frekanslarda 12 dB artırmak için, birim alan başına kütle 4 kat artırılmalıdır; 18 dB'lik bir artış için birim alan başına 8 katlık bir artış gerekir. Birim alan başına kütle, kalınlık artırılarak veya daha yoğun bir malzeme seçilerek artırılabilir. 150 mm kalınlığındaki tek katmanlı bir betonun yaklaşık 55 dB'lik bir ses iletim kaybı değeri vardır.

Bölge 3: Sönümleme kontrolündeki bölge

Kritik frekansın üzerindeki frekanslar için, iletim kaybı, gelen ses dalgalarının frekansına ve panel malzemesinin dahili sönümlemesine büyük ölçüde bağlıdır.

Kritik frekans

Kütle kontrollü bölgede, çarpan ses dalgasının frekansı arttıkça, malzemede frekansa bağlı olan bükülen dalgaların dalga boyu, havadaki ses dalgalarının dalga boyuna yaklaşır. Dalga boylarının eşitliği (coincidence) ilk olarak 90°'lik bir geliş açısı için meydana gelir. Bu durum oluştuğunda, gelen ses dalgaları ve paneldeki bükülme dalgaları birbirini güçlendirir. Ortaya çıkan panel titreşimi, panelin ses iletim kaybında keskin bir azalmaya neden olur. Bu nokta, Bölge II davranışından Bölge III davranışına geçişe karşılık gelir. Kritik frekansa ulaşıldığında R düşüş gösterir ve minimum değerinden geçerek, frekansa bağlı olarak tekrar artmaya başlar. Buna çakışma çukuru denir.

Kritik frekans (veya dalga çakışma frekansı, f_c) aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir (2.13) (Reynolds, 1981):

$$f_c = \frac{\sqrt{3}\, c_0^2}{\pi . c_L . h} \tag{2.13}$$

c_0 panelin etrafındaki havadaki ses hızını, c_L boylamsal dalgaların hızını ve h malzemenin kalınlığını temsil etmektedir.

Rijitliğin/sertliğin Kritik Frekansa Etkisi

Bölmelerin ve döşemelerin ses iletim kayıpları malzemenin sertliğinden etkilenir. Sert malzemeler için iletim kaybı grafikleri, ses iletim kayıplarının kütle yasasından beklenenlerin altına düştüğü belirli frekans aralıklarındaki düşüşleri gösterir. Buna çakışma etkisi denir ve genellikle düşük bir STL değerine sebep olur. Sac kurşun gibi çok düşük sertliğe sahip malzemeler etkin bir şekilde çakışma eğimleri göstermez. Farklı malzemeler için çakışma frekansları, akustik spektrumun farklı bölümlerinde, bazen bina akustiğinde kullanılan normal aralığın dışında meydana gelir. Belirli bir malzeme için çakışma veya kritik frekans f_c aşağıdaki formülle de hesaplanabilir (2.14):

$$f_c = A/t \tag{2.14}$$

Burada A, incelenen her malzeme için bir sabittir ve t, malzeme kalınlığıdır, mm.

Çizelge 2.5'te bazı yapı malzemelerinin kritik frekansı hesabı için gerekli A ve m_s değerleri ve Çizelge 2.6'da kalınlığa bağlı farklı malzemelere ait kritik frekans değerleri bulunabilir. Örneğin, çeliğin A değeri 12.700 Hz-mm'dir ve 5 mm'lik bir çelik levhanın çakışma frekansının 2540 Hz olduğu hesaplanabilir. Benzer şekilde, 100 mm kalınlığındaki bir beton tabakasının çakışma frekansı 187 Hz olarak hesaplanabilir. Beton ve kontrplakların yaygın olarak kullanılan kalınlıklardaki kritik frekansları, bina akustiğinde önemli olan frekans aralığına (100 ila 4000 Hz) düştüğü için, çakışma (coincidence) etkileri nedeniyle ses iletim kaybı değerlerindeki azalmalar önem kazanmaktadır. Alçı duvar levhası için çakışma frekansı oldukça yüksektir ve bu nedenle ses iletim kaybı değeri üzerindeki etkisi genellikle daha azdır. Çakışma eğiminin derinliği, panelle ve panelin katmanlarını oluşturan diğer malzemelerle temas halinde olduğu çeperin enerji kayıpları ile belirlenir. Enerji kayıpları ne kadar büyük olursa, çakışma eğimi o kadar sığ ve ses iletim kaybı değeri üzerindeki etki o kadar az olur (Warnock, 1985).

Çizelge 2.5: Bazı genel yapı malzemelerinin kritik frekansının (f_c) hesaplanması için, m_s: yüzey kütlesi, A: 1 mm kalınlık için sabit (Warnock, 1985).

Malzemeler	**m_s kg/m^2 (1 mm)**	**A Hz-mm**
Alüminyum	2.7	12.900
Ağır beton	2.3	18.700
Boşluklu beton blok (150 mm)	470	120
Çam ağacı	0.55	8.900
Cam	2.5	15.200
Kurşun	11.0	55.900
Pleksiglas	1.15	30.800
Çelik	7.7	12.700
Alçı levha	0.82	39.000
Kontrplak	0.6	21.700

Kritik frekansın üzerindeki frekanslarda ses azaltımı gelen sesin frekansına, elemanın yüzey birim kütlesine, panelin rijitliğine ve elemanın malzemesinin sönümlemesine bağlıdır. Üst sertlik bölgesi olarak da adlandırılır (Hassan, 2009).

Sönümleme kontrolündeki bölgede ses azaltım indisi aşağıdaki formül ile hesaplanabilir (Hassan, 2009)

$$R=20logM_s-13logf_c+33logf+10log\eta-48 \quad (2.14)$$

η panelin toplam kayıp faktörü diğer bir deyişle sönümleme katsayısıdır. Aslında toplam kayıp faktörü sadece malzemenin iç kayıplarını değil aynı zamanda panel sınırlarındaki birleşimlerde gerçekleşen enerji kayıplarını da içerir. Tipik yapı malzemeleri için iç kayıp faktörü çoğunlukla % 0.3-1 aralığında olup oldukça azdır ve laboratuvar ölçümleri ile elde edilebilir. Panel kenarlarındaki birleşimlerde gerçekleşen enerji kaybının ise toplam kayıp faktörüne katkısı çoğu zaman daha büyük olur. Fakat kenarlardan kaynaklı kayıp faktörü yapı elemanının bağlı bulunduğu diğer elemanlarla birleşim detayına göre farklılık gösterir ve önceden tespit edilmesi daha zor olan bu durum sahada aşırı durumlarda ses azaltım indisini 5 dB'in üstünde düşürebilir (Hassan, 2009).

Mekanlar ve yapılar arasında ses enerjisi alışverişinde etkili yutuculuk ve iletimi tanımlamak için aynı terminolojiyi kullanarak, farklı sönümleme mekanizmalarının İstatistiksel Enerji Analizinde kullanılan kayıp faktörleriyle ilişkilendirilmesi uygundur; bunlar iç kayıp faktörü, bağlantı kayıp faktörü ve toplam kayıp faktörüdür (Hopkins, 2007). Yapı elemanlarının basit fiziksel özelliklerini oluşturan kütle, kalınlık, boyut ve bunlara bağlı alan ve yoğunluk daha kolay elde edilebilirken,

malzeme iç yapısından kaynaklı akustik özellikleri boyuna dalga hızı ve iç kayıp faktörü her malzeme için ölçümle tespit edilmiş olmayabilir. Kalınlığa bağlı farklı malzemelere ait kritik frekans değerleri Çizelge 2.6'da, TS 12354-1 Standart Ek-B'de verilen frekanslar bazında hesaplanmış R_w değerleri Çizelge 2.7'de bulunabilir.

Çizelge 2.6: Kalınlığa bağlı farklı malzemelere ait kritik frekans değerleri (Bucur, 2005).

Malzemeler	**Kritik frekans (Hz)**				**Yoğunluk (kg/m^3)**
Tuğla ve beton					
Duvar kalınlığı	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm	
Tuğla Duvar	470	235	160	120	1500
Beton Duvar	-	165	110	82	2400
Ahşap ve ahşap esaslı malzemeler					
Duvar kalınlığı	2 mm	5 mm	2 cm	3 cm	
Çam ağacı	-	-	500	330	500
Kayın ağacı	-	2400	600	400	750
Kontrplak	7000	2800	700	470	550
Yonga levha	-	4300	1090	725	660
Diğer malzemeler					
PVC	20200	8100	2020	1350	1400
Demir	26000	4350	2600	1300	7600
Cam	24000	4000	2400	1200	2500
Kurşun	106000	17700	10600	5300	11300

Çizelge 2.7: TS 12354-1 Standart Ek-B'de verilen frekanslar bazında hesaplanmış R_w değerleri (TS EN 12354-1, 2019).

	Kütle kg/m^2	**63**	**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**	**R_w**
120 mm Beton	276	35	34	36	46	54	62	69	49
260 mm Beton	598	43	42	51	59	67	74	75	61
110 mm Ca-Si Blok.	193	34	34	33	39	49	58	65	44
240 mm Ca-Si Blok.	420	38	38	46	54	62	68	68	56
120 mm hafif beton	156	33	36	34	35	44	53	56	42
300 mm hafif beton	390	37	42	51	58	58	58	58	54
100 mm gazbeton	65	26	30	31	27	32	41	45	32

Yukarıdaki literatür özeti incelemesinden ve hesaplama formüllerinden anlaşılacağı gibi bir malzemeye ait ses iletim kaybı değeri malzemeye ait birçok özeliğe bağlıdır

ve bu farklılıklar frekanslara göre de değişim göstermektedir. Çizelge 2.8'de düşük, orta ve yüksek frekanslarda etkili malzeme özelikleri verilmiş, tez kapsamında üretilen malzemenin ölçülen fiziksel ve mekanik deney sonuçlarına bağlı akustik değerlendirmeler bu veriler ışığında yapılmıştır.

Çizelge 2.8: Düşük, orta ve yüksek frekanslarda STL değeri üzerinde etkili malzeme özelikleri.

Malzeme Öz.	Düşük frekans	Orta Frekans	Yüksek Frekans
Birim Hacim Ağırlık	•	•	
Kapilarite Katsayısı	•	•	
Ağırlıkça Su Emme	•	•	
Görünür Porozite	•	•	
Porozite	•	•	
Basınç Dayanımı			•
Elastiklik Modülü	•		•
Ultrases Hızı	•		•

Özetle;

- Düşük frekanslarda, frekans arttıkça R azalmaktadır. Bu alana rijitlik etkili bölge denir.
- R rezonanslara bağlı olarak en düşük değerine f_{11}'de ulaşır. Bu alan rijitlik etkili bölge ile kütle kanunun etkili olduğu bölgenin arasındadır.
- Kütle kanunun etkili olduğu bölgede R doğrusal olarak artar. Teorik olarak maksimum 6 dB/oktav artış görülür.
- Kritik frekansa ulaşıldığında R yeniden düşüş gösterir ve minimum değerinden geçerek, frekansa bağlı olarak tekrar artmaya başlar. Buna çakışma çukuru denir (Çay, 2014; Demirkale, 2007).

2.2.1.1 Ses yalıtımının ölçülmesi ve ilgili standartlar

Malzeme örneklerinin ses iletim kaybını (STL) ölçmek için ses yeğinliği yöntemi (sound intensity method), dört mikrofonlu transfer matrisi yöntemi (four-microphone transfer matrix method) ve geleneksel iki odalı yöntem ya da çınlama odası yöntemi (conventional two-room method) gibi çeşitli yöntemler vardır. Ses yeğinliği yöntemi ISO 15186–1 standardında, dört mikrofonlu transfer matrisi yöntemi ASTM E2611 (2019) standardında, çınlama odası yöntemi TS EN 140-1 (2006) ve TS EN 140-3 (2006) standardında sunulmaktadır. Araştırmacıların çoğunlukla dört mikrofonlu transfer matrisi yöntemini ve numunelerin ses iletim kaybı değerlerini deneysel olarak

belirlemek için geleneksel iki odalı yöntemi kullandıkları bilinmektedir (Körük, 2021). Bu nedenle ses yeğinliği yöntemine kısaca değindikten sonra diğer iki yöntem aşağıda sunulmuştur.

Ses yeğinliği yöntemi (Sound intensity method)

Numunenin kaynak ve alıcı oda arasına yerleştirildiği ses yeğinliği yönteminde, kaynak tarafındaki bir mikrofon ses basınç seviyelerini kaydeder ve alıcı tarafta bir yoğunluk haritası elde edilir. Test örneğinin ses iletim kaybı (STL) aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır (2.15) (Lai ve Burgess, 1991):

$$\mathrm{STL_r}(\omega) = L_{I_i}(\omega) - L_{I_t}(\omega) = L_{p_i}(\omega) - 6 - L_{I_t}(\omega) \tag{2.15}$$

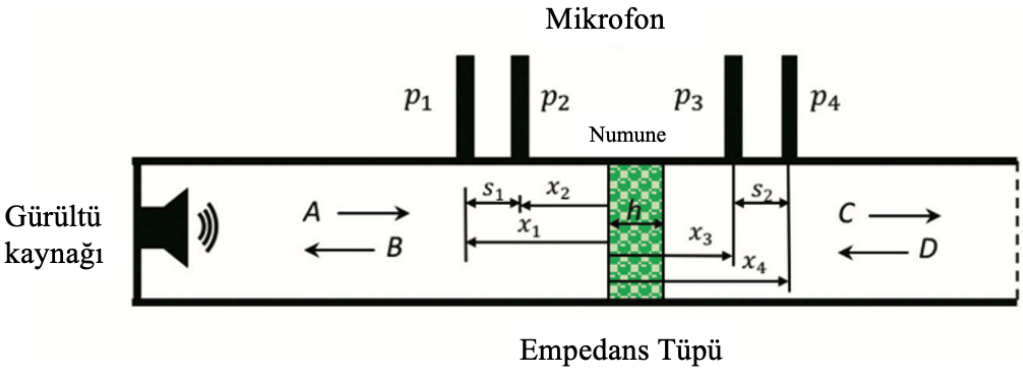
Burada L_{pi}, kaynak odadaki ortalama ses basıncı seviyesidir ve L_{Ii} ve L_{It}, sırasıyla gelen ve iletilen ses yoğunluğu seviyeleridir. ω; 2πf'i yani açısal frekansı temsil etmektedir. Bu yöntemde sadece bir çınlama odasına ihtiyaç duyulsa da günümüzde bu yöntemin pratikte pek yaygın olmadığı görülmektedir.

Dört mikrofonlu aktarım matrisi yöntemi (Four-microphone transfer matrix method)

Dört mikrofonlu aktarım matrisi yönteminin şematik resmi Şekil 2.8'de gösterilmiştir. Bu yöntemde x_1 ila x_4 olarak adlandırılan dört ölçüm konumunda ölçülen ses basınçları şu şekilde ifade edilebilir (2.16) (Jung ve diğ, 2008):

$$\begin{aligned} p_1 &= Ae^{-jk_0x_1} + Be^{jk_0x_1} \\ p_2 &= Ae^{-jk_0x_2} + Be^{jk_0x_2} \\ p_3 &= Ce^{-jk_0x_3} + De^{jk_0x_3} \\ p_4 &= Ce^{-jk_0x_4} + De^{jk_0x_4} \end{aligned} \tag{2.16}$$

Yukarıdaki formülde A ve B, tüpün kaynak yönünde, gelen ve yansıyan dalga bileşenlerini ve C ve D, tüpün çıkış yönünde, iletilen ve yansıyan dalga bileşenlerini ifade eder (Körük, 2021).

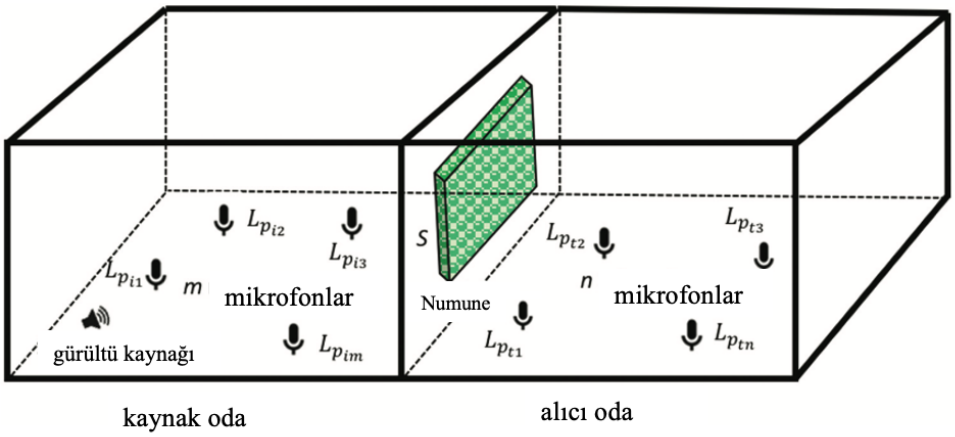


Şekil 2.8: Dört mikrofonlu aktarım matrisi yönteminin şematik ifadesi.

Çalışma kapsamında kullanılan yöntem "Deneysel Yöntem" başlığı altında daha detaylı olarak açıklanmıştır.

Geleneksel iki odalı yöntem (Conventional two-room method)

Geleneksel iki odalı yöntemin şematik ifadesi Şekil 2.9'da gösterilmektedir. Hem kaynak hem de alıcı odaların yayınık veya yankılı olduğu bu yöntemde, yüzey alanı S olan bir bölmenin ses iletim kaybı değeri, kaynak odadaki (Lp_i) ve alıcı odadaki (Lp_t) ses basıncı seviyesinin ortalaması olarak kabul edilir ve aşağıdaki denklemle hesaplanabilir (2.17) (Körük, 2021):



Şekil 2.9: Geleneksel iki odalı yöntemin şematik ifadesi (Körük, 2021).

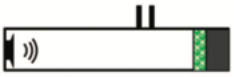
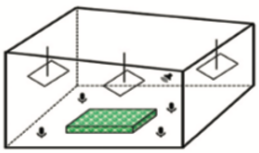
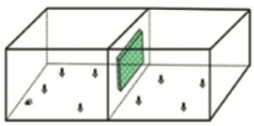
$$\mathrm{STL_r}(\omega) = L_{p_i}(\omega) - L_{p_t}(\omega) + 10\log[S/A(\omega)] \qquad (2.17)$$

Formülde A, alıcı odanın toplam yutuculuğudur.

Akustik testler, iki mikrofon aktarım fonksiyonu (a) ve dört mikrofon aktarım matrisi (b) yöntemlerinde küçük silindirik örnekler (yaklaşık 28 ila 98 mm çapında) kullanılarak yapılırken, daha büyük örneklerde (birkaç metre boyutunda) çınlama

odası (c) ve geleneksel iki odalı (d) yöntemler kullanılır. İlk iki yöntem (a ve b) pratikte yaygın olarak kullanılmaktadır, çünkü empedans tüpleri küçük boyutları nedeniyle laboratuvar ölçümleri için çok uygundur, küçük boyutlu numuneler gerektirirler (çınlama odasına nazaran daha az malzeme gerektirir) ve ölçüm süreleri kısadır (a birkaç dakika). Bununla birlikte, bu iki yöntemle (a ve b), yalnızca tüp boyutlarına bağlı sınırlı bir frekans aralığındaki normal insidanslı (geliş açısı olmayan, dik açıyla geldiği kabul edilen) ses yutuculuk katsayıları (SAC) ve ses iletim kayıpları (STL) ölçülebilir. Ayrıca, test numunesinin tüplerdeki montaj durumu, bu iki yöntemde (a ve b) ölçülen ses yutuculuk katsayısı (SAC) ve ses iletim kaybı değerlerini etkileyebilir (Körük, 2021). Çizelge 2.9'da numunelerin akustik özeliklerini ölçmek için kullanılan dört yaygın yöntemin karşılaştırması sunulmuştur.

Çizelge 2.9: Pratikte numunelerin akustik özeliklerini ölçmek için kullanılan dört yaygın yöntemin karşılaştırması (Körük, 2021).

Ses yutuculuğu	Ses İletim Kaybı	Avantajlar	Dezavantajlar
iki mikrofon aktarım işlevi yöntemi (ASTM E1050 & ISO 10534-2) 	**dört mikrofonlu aktarım matrisi yöntemi** (ASTM E2611) 	Küçük test numunesi (28 ila 100 mm çapında) sayesinde daha az malzeme kullanmak mümkündür. Küçük test numuneleri sayesinde laboratuvar kullanımı için pratiktir. Kısa ölçüm süreleri (birkaç dakika) vardır.	Sadece normal açıyla gelen ses yutuculuk katsayısı ve iletim kaybı ölçümleri yapılabilir. Tüp boyutlarından kaynaklı sınırlı frekans aralığı vardır. Numunenin tüpe yerleştirilmesinin olumsuz etkisi olabilir (kenarlardan sızıntı etkisi).
Reverberasyon odası yöntemi (ASTM C423 & ISO 354) 	**İki odalı yöntem** (ASTM E90, EN ISO 140) 	Rastgele açılarla gelen ses yutuculuk katsayısı ve iletim kaybı ölçümleri yapılabilir. Geniş bir frekans aralığı için ölçümler yapılabilir. Kenardan sızıntı olması ihtimali düşüktür. Büyük nesnelerini test etmek mümkündür.	Büyük numuneler nedeniyle çok miktarda malzeme ihtiyacı oluşur (Yaklaşık 10 m^2 boşluğa uygun olarak numuneler üretilir). Büyük boyutlu test numuneleri nedeniyle laboratuvar kullanımı için pratik değildir. Uzun ölçüm süreleri vardır.

TS EN 12354-1, "Yapı Akustiği - Yapıların Akustik Performansının Elemanların Performanslarından Hesaplanması - Bölüm 1: Odalar Arasında Hava ile Yayılan Sesin Yalıtımı" standardı, binalarda odalar arası hava doğuşlu sesin yalıtımını, yanal iletimleri de hesaba katarak belirleyen, teorik hesaplama yöntemini içermektedir. Standard, frekans bantlarında hesap yapılan ve sonucu TS EN ISO 717-1 "Akustik - Yapılarda ve Yapı Elemanlarında Ses Yalıtımının Değerlendirilmesi - Bölüm 1: Hava ile Yayılan Sesin Yalıtımı" standardı ile tek sayılı bir değere dönüştürülebilen ayrıntılı yöntemi ve tek sayılı değerin hesaplanabildiği yöntemi içermektedir. TS EN 140-1 (2006)'e göre odalar arasında ses yalıtımı, ilgili bir kaç büyüklük cinsinden ifade edilebilir. Örneğin; R'_w, $D_{nT,w}$ veya $D_{nT,w+C}$ gibi bu büyüklükler, TS EN ISO 717-1'e göre yapı performansı için tek numara derecelendirilmesinden frekans bantlarında (bir bölü üç oktav veya oktav bantları) elde edilerek tayin edilebilir.

2.2.1.2 Ses iletim kaybı değerinin tek sayılı değerlere çevrilmesi

Yapı elemanlarının frekanslara göre değişen ses iletim kaybı değerlerini tek bir sayı ile ifade etmek için; yapı elemanın 1/1 veya 1/3 oktav bantlardaki ölçüm değerlerinden, bir standart frekans spektrumu kullanılarak elde edilen tek sayılı yalıtım göstergelerinden yararlanılmaktadır. Tek sayılı yalıtım göstergeleri Çizelge 2.10'da belirtildiği üzere; R, R_w, R', R'_w, D_{nT}, $D_{nT'w+C}$ ile ifade edilmektedir.

Bu göstergeler belirli frekans aralıklarında, genellikle 50 - 3150 Hz veya 100 - 3150 Hz frekans aralıklarında ele alınmaktadır. Yapı dışındaki gürültülerin veya yapı içindeki müzik sistemlerinin kullanılmasından ve çeşitli ev aletlerinden kaynaklanan gürültülerin düşük frekanslarda da etkili oldukları bilinmektedir. Bu nedenle, yapı elemanının seçiminde düşük frekanslardaki yalıtım özeliklerinin de ele alınması gerekmektedir. Ayrıca birçok ülkenin yönetmeliğinde tek sayılı yalıtım göstergelerinin elde edilmesinde, TS EN ISO 717-1 ile tarif edilen spektrum uyarlama terimleri kullanılmaktadır.

Çizelge 2.10: Avrupa' da yapı elemanlarının hava doğuşlu ses yalıtımı göstergeleri.

Ölçülen değer (1/1 ya da 1/3 oktav bantta)		Tek sayılı yalıtım göstergesi (50 – 3150 Hz veya 100 – 3150 Hz)	
Kısaltma	İfade	Kısaltma	İfade
R	Ses azaltma indeksi	R_w	Ağırlıklı ses azaltma indeksi
R'	Görünür ses azaltma indeksi	R'_w	Ağırlıklı görünür ses azaltma indeksi
D_{nT}	Standardize düzey farkı	$D_{nT'w+C}$	Ağırlıklı standardize düzey farkı

R bir yapı elemanının her bir frekanstaki ses iletim kaybı değerini teker teker gösterirken, R_w (C; C_{tr}) değeri TS EN ISO 717-1'de verilen yönteme göre kaydırma yapıldıktan sonra 500 Hz' de referans eğrisinin desibel cinsinden değeridir (Yılmaz Demirkale, 2007). Spektrum adaptasyon değişkeni (C; C_{tr}) 0,1 dB yanlışlıkla hesaplanır ve bir tam sayıya yuvarlanır. Şu şekilde adlandırılır: C; spektrum No:1 ile hesaplandığında (A ağırlıklı pembe gürültü), C_{tr}; spektrum No:2 ile hesaplandığında (A ağırlıklı şehir trafik gürültüsü).

Hava doğuşlu ses yalıtım özelikleri 1/3 oktav bantlarda ölçülür. Duyulabilir spektrum bölümündeki ölçümler 100 Hz ile 3150 Hz arasında yapılmaktadır. Böylece R′ için 16 adet değer ortaya çıkmaktadır. Bu değerler hesaplandıktan sonra bulunan tek sayılı değer panelin tüm performans göstergesi olarak kullanılmaktadır. Ancak bu, iki sebepten ötürü tam tanımlayıcı olamamaktadır. İlk olarak bu değerdeki ortalama artış, kulağın duyabilme hassasiyet frekansı kadar hesaba katılamamaktadır. İkinci olarak, R′ nin çok düşük değerlerinde herhangi bir frekans bandı ortalama yüksek değer için gizli hale gelmektedir. Dinleyici kişi etkilenene kadar, panelin ses yalıtım etkisinin sağlanmasının tespit edilmesi ortalama değerden ziyade çok düşük değerde olmaktadır. Bu nedenle, R′ nin 1/3 oktav bantlarındaki tüm değerleri (16 adet) denetlenmelidir. Ancak bu pratik olmayan hesaplama, fazlaca zaman kaybına neden olmakta, ayrıca karşılaştırma yapmakta zorluk çıkarmaktadır. Sonuç olarak, bu sistemin aşılabilmesi için 16 adet 1/3 oktav bant indeks değerleri tam sayıya çevrilerek performans belirleyici sayılar olarak kullanabilmektedir. Bunun birçok yöntemi bulunmaktadır. TS EN ISO 717-1:2013 Standardı ile bu yöntem tanımlanmıştır. Bu yöntemde ölçülen değerler referans değerler ile karşılaştırılmıştır.

Frekans 100 Hz den 125 Hz'e çıktığında, referans değerlerde artış görülmektedir. Kulağın hassasiyeti orta ve yüksek frekanslarda daha iyi olması nedeniyle, ortalama değeri hesaplayabilmek için hesaba katılan ilk değerin etkisi daha fazla olur. Bir panel için ölçülen ve ardından aynı tabloya yazılan referans değerleri, aynı frekanstaki iki değerle karşılaştırılır. Eğer referans değeri daha büyük ise,-R′ arasındaki fark not edilir. Eğer değer küçük ise önemsenmez. Böylece farkların toplamı için karşı sapma bulunmuş olunur. Böylece referans eğrisi yukarı ya da aşağı yönelmiş olur, birim zamanda 1dB olacak şekilde, karşı sapma değeri en büyük değerine ulaşıncaya kadar hesaplanarak eğrinin tam değeri tanımlanmış olur. Bu değer en fazla 32 dB olabilir. Bu ölçüm ve grafik tamamlandıktan sonra eğri üzerinden 500 Hz değeri okunur, bu

değer panelin tek ağırlıklı görünür ses azaltım indeksi 'Single number weighted apparent sound reduction index' olarak tanımlanır. Aynı prosedür ve aynı referans değer dizisi için kullanılarak panelin ses izolasyon tekil sayısını üçüncü oktav bant ölçüm değerlerinde kullanılır (Çay, 2014; Erdil, 2015).

2.2.2 Malzemenin ses iletim kaybının iyileştirilmesine ilişkin literatür araştırması

Doktora tezinin bu bölümünde, malzemede akustik özelikleri incelemek üzere yapılmış çalışmalara yer verilmiştir. Agrega türü ve boyutunun, porozitenin (açık gözeneklilik, kapalı gözeneklilik, gözenek boyutu, dolambaçlılık), kalınlığın, rijitliğin ve liflerin ses iletim kaybı/yutuculuk üzerindeki etkisi incelenmiştir.

2.2.2.1 Agrega türü ve boyutunun ses iletim kaybı/yutuculuk üzerindeki etkisi

Shebl ve diğ. (2011) çalışmasında, maksimum 20 μm çapa sahip ultra ince silisin/kumun (UFS), çimentolu harçların mekanik ve akustik özeliklerini geliştirmedeki rolünü araştırmıştır. UFS'nin çimento harcına %5'e kadar eklenmesiyle ses yutuculuk ve ses azaltma katsayısı (NRC) azalmıştır. Bunun nedeni, UFS'nin harcın içerisindeki boşlukları doldurarak harcın porozitesini azaltması ve daha dolu (kompakt) bir bünye oluşturması ve aynı zamanda harç ile daha kuvvetli bir bağ oluşturmasıdır. Bununla birlikte, UFS'nin harca %7.5 ve %10 eklenmesiyle harcın gözenekliliğinde artış meydana gelmiş ve ses azaltma katsayısı artmaya başlamıştır. Gelecekte bu çalışmanın geliştirilmesi için harcın düşük oranlarda doğal ve sentetik malzemeler ile birlikte hibrit kullanılarak modifiye edilmesiyle, basınç ve eğilmede çekme dayanımından ödün vermeden, ses yutuculuk seviyesinin artırılabileceği belirtilmiştir.

Binici ve diğerlerinin (2009) yaptıkları çalışmada, endüstriyel gürültünün yalıtımı için lif ve bazaltik pomza takviyeli olarak geliştirdikleri hafif malzemede bazaltik pomzanın lif katkılı kilin ses iletim kaybı değerini artırdığı görülmüştür.

Bozkurt (2019) tez çalışmasında, tarihi mekanlarda kullanılan sıva yüzey kaplamalarının ses yutma katsayısını incelemiş ve agrega parçacık boyutunun çok ince (0-2 mm) kullanılmasının ses yutuculuk katsayısını olumsuz yönde etkilediğini gözlemlemiştir. Harç karışımda hafif agrega tipinin kullanılmasının ses yutuculuk katsayısını artırdığını belirtmiştir. Ayrıca kauçuk katkı maddelerinin agrega yerine

veya birlikte kullanılmasının da düşük frekanslardaki ses yutuculuk katsayını artırdığı sonucuna varmıştır.

Bozkurt ve Demirkale'nin (2018) bir diğer çalışmasında, sıvanın ses yutuculuğunu arttırmak için, bağlayıcı oranının ve agrega parçacık büyüklüğünün harç karışımlarındaki etkileri araştırılmıştır. Ayrıca, polipropilen lif, keten lif ve kauçuk parçaları katkı maddelerinin etkileri de incelenmiştir. Agrega parçacık boyutunun etkisi incelendiğinde, ince agreganın (0 ile 2 mm arasında) ses yutuculuk katsayısı üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olabileceği ve 2–4 mm agrega kullanarak ses yutuculuk katsayısının artırılabileceği belirtilmiştir. Polipropilen elyaf katkı maddelerinin kullanılmasının, açık gözenekliliğe katkıda bulunduğu ve düşük frekanslarda (750 Hz'e kadar) malzemenin yutuculuğunu artırdığı tespit edilmiştir. Çalışmaya göre agrega yerine farklı oranlarda kauçuk katkı maddelerinin (2-4 mm) kullanılması, düşük frekanslarda ses yutuculuk katsayısını artırmıştır. Kauçuk katkı maddesinin, özellikle 800 Hz değerlerine kadar olan ses yutuculuk katsayısı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Agrega yerine atık kauçuk kullanımı, açık gözeneklilik oranını artırdığından, basınç ve eğilme dayanımı üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olmuştur.

Zhao ve diğerlerinin (2014) çalışmasında 0–2 mm, 1-3 mm, 1-5 mm agregalar ile oluşturulmuş betonlar ses yutuculuğu açısından karşılaştırılmıştır. Toplam 1-3 mm'lik agrega ile oluşturulmuş beton akustik yutuculuk üzerinde en uygun etkiye sahip olmuş, bunu 1-5 mm izlemiştir. Bununla birlikte, 0-2 mm'lik agrega ile oluşturulmuş beton en az istenen yutuculuğa sahip olmuştur. Bunun nedeni, agrega boyutu oldukça küçük olduğunda, iç gözeneklerin ve açıklıkların neredeyse tıkalı ve hava akış direncinin büyük olmasıdır. Agrega boyutundaki düşüşle birlikte, çimento harcının hacmi artarken, agregalar arasında oluşturulan gözeneklerin hacmi azalır. Bu nedenle, ses dalgası gözenekli malzemelerin içinden etkili bir şekilde geçemez, bu da oldukça düşük bir ses yutuculuk katsayısı ile sonuçlanır. Aksine, agrega büyük olduğunda, gözenekler ve açıklıklar kabul edilebilir bir yutuculuk performansı veremeyecek kadar büyük olacaktır. Bu nedenle, optimum agrega derecelendirmesi 1-3 mm olarak belirtilmiştir.

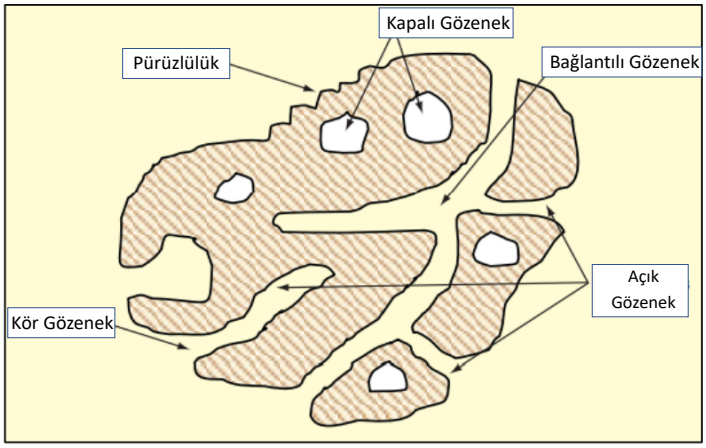
Zhao ve diğerlerinin (2010) deney sonuçları, ahşap ve kullanılmış atık lastik kompozit panelin (WRCP) ses yalıtım özeliğinin lamine ahşap döşeme levhası ve ahşap esaslı yonga levhadan daha iyi olduğunu göstermiştir. Ek olarak, WRCP'nin akustik yalıtımı,

kauçuk parçacıklarının miktarından önemli ölçüde etkilenmiştir. Ses yalıtım etkisi aynı zamanda ahşap/kauçuk arayüz bölgesinin mikro yapısına da bağlıdır.

Çöktürülmüş kalsiyum karbonat (precipitated calcium carbonate-PCC) dolgulu ahşap plastik kompozitin (wood plastic composite-WPC) ses iletim kaybı Zhu ve diğerlerinin (2014) çalışmasında incelenmiştir. Sonuçlar, WPC'nin ses iletim kaybı değerinin artan frekansla ve PCC ağırlık oranındaki artışla arttığını göstermiştir. Ses yalıtımının iyileştirilmesi, kütle artışına, dolgu maddeleri ile ses dağılımının iyileştirilmesine ve PCC ağırlık oranına bağlanmıştır. Daha büyük inorganik parçacık boyutu daha yüksek ses iletim kaybının elde edilmesini sağlamış, ancak bunun etkisi daha düşük frekans aralıklarında belirgin değildir.

2.2.2.2 Porozitenin (Açık gözeneklilik, kapalı gözeneklilik, gözenek boyutu ve dolambaçlılık) ses iletim kaybı/yutuculuk üzerindeki etkisi

Gözenekli malzemelerde ses yutma mekanizmasını incelerken göz önünde bulundurulması gereken önemli faktörler gözenek sayısı, boyutu ve türleridir (Şekil 2.10). Gözeneklilik (porozite), malzemenin gözenek hacminin malzemenin toplam hacmine oranıdır. Ses, gözenekli malzemeye girmelidir; yani sesin malzemenin yüzeyinden malzeme içerisine girişine izin vermek için yeterli açık gözenekliliğin olması gerekir (Tiuc ve diğ, 2014). Ses yutuculuğunda kapalı gözenekler açık gözenekler kadar etkili değillerdir.



Şekil 2.10: Açık ve kapalı gözenekler, iki farklı davranış (Guillaume, 2013).

Öte yandan açık gözenekler, akıcı faz yani hava ile etkileşime geçer ve enerjinin kaybında tetikleyici rol oynar. Enerji kaybının üç temel nedeni vardır:

- Viskoz etkiler nedeniyle meydana gelen kayıplar: Hava ve gözenek iskeleti arasındaki sürtünme nedeni ile meydana gelen enerji kaybı;
- Isıl etkiler nedeniyle meydana gelen enerji kaybı: Hava ve malzemenin gözenek iskeleti arasındaki ısı alışverişi ile meydana gelen ısı kaybı;
- Viskoelastik etkiler nedeniyle meydana gelen enerji kaybı: Matrisin iç sürtünmesinden kaynaklanan enerji kaybı.

Yukarıda ilk maddede sözü edilen viskoz etkiler nedeniyle meydana gelen ses enerjisi kaybı sesin sönümlenmesi (attenuation) açısından en etkilisidir. Burada gözenek boyutu da önemlidir. Gözenek boyutu daraldıkça ses yutuculuk katsayısı artar ve dar gözenek miktarı arttıkça gelen ses dalgası ile gözenek duvarı arasında daha fazla çarpışma meydana gelir, yani ses enerjisi azalır. Aynı nedenden ötürü, yüzey alanının artması ses yutuculuğunu iyileştirir. Gözenekli betonda ses yutuculuğu, gelen sesin ses dalgası ile gözenek duvarları arasındaki sürtünmeye bağlıdır (Guillaume, 2013).

Seramik gibi rijit yapıya sahip gözenekli ses yutucu malzemelerde, malzeme gözeneklerindeki enerji kaybı, sürtünme yoluyla meydana gelir. Bu tip malzemelerde ses enerjisinin, malzemenin gözeneklerinde maksimum düzeyde yok olması gerekmektedir. Gözenekler çok açıksa, ses dalgası malzemeden geçecek ve fazla enerji kaybolmadan malzeme içerisinden geçmiş olacaktır. Gözenekler tamamen kapalı olduğunda ses dalgası malzemeye çok fazla nüfuz edemeyecek, ancak az miktarda da olsa enerjisinin bir kısmını kaybettikten sonra geri yansıyacaktır. Yukarıdaki iki uç durumun arasındaki bir durum olan malzemedeki maksimum ses yutuculuk, aslında ses dalgasının geçişi sırasında enerjinin maksimum düzeyde saçıldığı durumdur (Pepplinkhouse ve Davern, 1975).

Rajagopalan ve Leung'ün (2013) çalışmasında, beton atığından üretilen beton paneller spor salonlarındaki çınlama süresini (reverberation time) optimize etmek üzere sayısal simülasyonlar kullanılarak test edilmiştir. Beton panele gözenekli katman eklenmesi, özellikle 500 Hz'nin üzerindeki frekanslar için ses yutuculuk katsayısını önemli ölçüde (2.6 kata kadar) artırmıştır. Genel olarak, yüzeyi gözenekli olarak tasarlanmış betonların, orta frekansta (200 ila 630 Hz arasında) en düşük çınlama süresi değerine sahip olduğu gözlenmiştir. Gözenek sayısının artırılması, düşük-orta frekanslar için çınlama süresi değerinde küçük bir azalmaya neden olmuş, gözeneklerin şeklinin etkisi frekansların çoğu için çok etkili olmamıştır.

Park ve diğerlerinin (2005) yaptıkları çalışmada gözenekli betonun fiziksel ve mekanik özelikleri ile ses yutuculuk özelikleri değerlendirilmiştir. Yapılan tasarımda etkili parametreler betondaki boşluk oranına ve geri dönüştürülmüş agrega içeriğine dayanmaktadır. Deney sonuçlarına göre boşluk oranı %25'i, geri dönüştürülmüş agrega oranı %50'yi aştığında, basınç dayanımının hızla azaldığı görülmüştür.

Glé ve diğ. (2011) tarafından, kenevir agrega kullanarak hazırlanan kenevir beton numune örneklerinde, bağlayıcı madde oranının ses yutuculuğuna olan etkisi sorgulanmıştır. Çalışmada farklı bağlayıcı oranına sahip numuneler üretilmiştir. Bağlayıcı oranının artmasının gözeneklilik oranını azalttığı ve bu sebepten dolayı ses yutuculuğunda azalma yaşandığı belirtilmiştir (Bozkurt, 2019).

Literatür araştırmasına göre malzeme içerisindeki gözenek miktarı ve boyutunun ses iletiminde etkili önemli bir parametre olduğu görülmektedir.

2.2.2.3 Kalınlığın ses iletim kaybı/yutuculuk üzerindeki etkisi

Gözenekli malzemelerin ses yutuculuğu ile ilgili çok sayıda çalışmada, düşük frekanstaki ses yutuculuğunun kalınlık ile doğrudan bir ilişki içinde olduğu sonucuna varılmıştır. Temel kural, gözenekli bir malzemede en etkin ses yutuculuğu, malzeme kalınlığı sesin dalga boyunun yaklaşık onda biri olduğunda elde edilmektedir.

Çalışmalar ışığında gözenekli malzemelerde artan kalınlığın ses yutuculuk açısından daha iyi performans sergilediği görülmüştür.

Bozkurt ve Demirkale'nin (2020) çalışmasında, tarihi binaların analizine dayanarak önerilen kireç bağlayıcı ile oluşturulmuş sıva harçlarının ses yutuculuk katsayıları incelenmiş ve farklı bağlayıcılara sahip üç farklı karışım tipi seçilmiştir. Bağlayıcılar; hidrolik kireç, sönmüş kireç ve puzolan katkılı sönmüş kireç olarak seçilmiş, 3 cm, 6 cm, 9 cm ve 12 cm kalınlıkta tabakalar üretilmiş, ses yutuculuk katsayısı analizleri yapılmıştır. Sonuçta, sıva kalınlığının artırılmasının, ses yutuculuk katsayısının iyileştirilmesinde önemli bir etken olduğu belirtilmiştir. İncelenen karışımlarda, sönmüş kireç bağlayıcıyla oluşturulmuş 12 cm kalınlığındaki harç karışımının, en yüksek ses yutuculuk özeliklerini sağladığı tespit edilmiştir.

Yu ve diğerlerinin (2007) çalışmasında, frekansın, köpük sandviç panellerin ses yalıtım özelliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Çalışmada, köpük sandviç panellerin ses azaltma indeksi (R), frekans 100 Hz'den 4000 Hz'e kadar

arttığında artmıştır. Düşük frekanslarda yaklaşık 20 dB, yüksek frekanslarda 50 dB kadar artış görülmüştür. Farklı kalınlık ve yoğunluktaki panellerle yapılan deneyler, kalınlık ve yoğunluğun artışıyla ağırlıklı ses azaltma indeksinin (R_w) arttığını göstermektedir.

2.2.2.4 Rijitliğin ses iletim kaybı /yutuculuk üzerindeki etkisi

Liang ve Jiang'ın (2012) çalışmasında biyo-esaslı malzemelerin ses iletim özelikleri araştırılmış ve biyo-esaslı malzemelerin akustik malzeme olarak daha geniş çapta kullanılabilirliği amaçlanmıştır. Sonuçta kalsiyum karbonatın varlığı, kompozitin rijitliğini artırarak ses dalgalarının daha iyi emilmesini sağlamıştır (Suhawati ve diğ, 2013).

2.2.2.5 Liflerin ses iletim kaybı /yutuculuğu üzerindeki etkisi

Yang ve diğerlerinin (2016) çalışmasından elde edilen deney sonuçları, lif çapının azaltılarak veya lif içeriğinin artırılarak ikinci rezonans frekansının iyileştirilmesiyle birlikte ses yutuculuk katsayısının (SAC) arttığı ve birinci rezonans frekansının kaybolduğu görülmektedir. Ses iletim kaybının (STL) da lif içeriğinin artırılmasıyla artırılabildiği görülmüştür. İnce liflere sahip rastgele yerleştirilmiş cam lifleriyle oluşturulan tüm test numunelerinde en iyi ses iletim kaybı değerleri elde edilmiştir.

2.3 Bölüm Sonucu

Literatür araştırmasının anlatıldığı bu bölümde LC^3 harcından, harcı oluşturan agregalardan, ses ve ses yalıtımı kavramlarından bahsedilmiştir. Literatür taramasına göre barit agregası, radyoaktif ışınları kesmek için çimento ile ağır beton üretiminde (Topçu, 2003), beyaz boya ve kağıt üretiminde dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır (Binici ve diğ, 2009). Daha da önemlisi, barit mineralleri kompozitlere ağırlık kazandırarak ses yalıtımı sağlamaktadır (Ersoy, 2019). Ses yalıtımında kütle yasasına göre, kütle ne kadar büyükse, malzemenin titreşimi o kadar zor olur, bu da malzemenin daha iyi bir ses yalıtımına sahip olacağını gösterir. Dolayısıyla, barit agregasının ses yalıtımı yüksek malzemelerin üretiminde kullanılması olasılığı çalışma kapsamında incelenmiştir. Kauçuk agregasının elastik enerjiyi dağıtması ve sertlik kontrolünü sağlaması nedeniyle kauçuk agregası çalışma kapsamında ikinci agrega olarak değerlendirilmiştir. Literatür araştırmasına göre dane boyutu daha küçük agregaların,

gözenek oluşumunu artırdığı ve ses yalıtımında daha dolu bir yapının oluşturulması gerekçesiyle çalışmada 0-8 mm dane boyutuna sahip agregalar kullanılmış, farklı harçlar oluşturulmuş ve aralarında karşılaştırmalar yapılmıştır. Literatür araştırmasında LC^3 harcıyla ilgili ses yalıtımı açısından bir değerlendirmeye rastlanmamıştır. Bu tezde barit ve atık kauçuk agregalarıyla oluşturulmuş LC^3 harcının bu yönde geliştirilmesine yönelik bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada LC^3 çimentosu esaslı harca ağırlık sağlamak amacıyla barit agragası ve sertlik kontrolünü sağlamak amacıyla atık kauçuk agragası katılarak binalar için ses iletim kaybı değeri yüksek bir malzeme geliştirmek amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda bu bölümde araştırmada kullanılan malzeme ve yöntem hakkında bilgiler yer almaktadır.

Geliştirilen LC^3 esaslı harç ses iletim kaybını iyileştirirken, binayı etkileyen diğer fiziksel ve mekanik etkiler altında kendisinden beklenilen performans özeliklerini de sağlaması gerekmektedir. Bu nedenle malzeme üzerinde performansı etkileyen fiziksel, mekanik ve akustik parametreler deneysel yöntemle saptanmış ve bulgular değerlendirilmiştir.

Ses iletim kaybı değeri yüksek malzeme geliştirmek için Türkiye'deki yerel firmalardan malzemeler temin edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan malzemeler, bağlayıcı olarak Portland çimentosu, metakaolen ve kireçtaşı tozu ile oluşturulmuş LC^3 bağlayıcısı ve agrega olarak dere kumu, barit ve atık kauçuktur. Portland çimentosu (PC), CEM-I 42.5 R: %95-100 klinker olarak sınıflandırılmış ve ÇimSa firmasından tedarik edilmiştir. Metakaolen, Kaolin firmasından temin edilmiştir. Kireçtaşı ve dere kumu İstanbul Teknik Üniversitesi, TICEM'den temin edilmiştir. Barit, Isparta yöresindeki Adobaşer Madencilik'ten alınmıştır. Atık kauçuk Gazisan fabrikasından alınmış, atık kauçuğun kimyasal işlem yardımı ile malzeme olarak geri dönüşümü yapılmış ve firmadan temin edilmiştir. Bu yöntemle atık kauçuğun içindeki gazlar, yağlar, çelik teller ve lifler ayrıştırılır. Böylece tek başına kauçuk agregası elde edilmiş olup, kauçuk ve harç aderansının gelişmesine katkı sağlanır. Portland çimentosu (PC), metakaolen, kireçtaşı tozu, dere kumu ve baritin XRF (X-ışını Floresan spektrometresi) ile belirlenen kimyasal bileşimi Çizelge 3.1'de verilmiştir. PC, metakaolen, kireçtaşı ve dere kumu analizi Philips 71 PW-2404 model XRF ekipmanı kullanılarak yapılmıştır. Baritin XRF analizi firmadan alınmıştır. XRF, katı (mineral, metal, kaya, toprak), sıvı (su, yağ, petrol ürünleri) gibi farklı formlardaki numunelerdeki ağır metal konsantrasyonlarının (Na-U element aralığında) yüzde (%)

olarak yarı kantitatif analizini sağlar. Bu nedenle atık kauçuk gibi polimer malzemelerin XRF analizi yapılamamıştır. PC'nin XRF sonuçları TS EN 197-1 (2012) şartlarını karşılamaktadır. Al_2O_3 dışındaki bileşenlerin metakaolende yüksek olması, Al_2O_3 oranının idealin (%39.50) altında olduğu anlamına gelir (MTA Genel Müdürlüğü). Bu durum, bu çalışmada kullanılan metakaolenin kalitesinin daha düşük olduğu anlamına gelmektedir. Dolomitçe zengin kireçtaşının CaO içeriği yaklaşık %53.66, metakaolenin SiO_2 ve Al_2O_3 içeriği sırasıyla %56.10 ve %40.23'tür. Bu içerikler çimentonun hidratasyonunu etkilediği için önem kazanmaktadır ve oranlar XRF analizi ile belirlenmiştir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1: Malzemelere ait yarı kantitatif element analizi (XRF).

Kimyasal Analiz	PC (%)	Metakaolen (%)	Kireçtaşı Tozu (%)	Dere Kumu (%)	Barit (%)
SiO_2	23	56.10	0.54	70.72	5
Al_2O_3	5.16	40.23	0.2	8.17	5
Fe_2O_3	2.38	0.85	0.12	2.7	1
TiO_2	0.48	0.55	0.01	0.48	0
CaO	58.58	0.19	53.66	6.8	3
MgO	1.45	0.16	0.42	2.03	0
K_2O	0.94	0.51	0.03	2.37	0
Na_2O	0.68	0.24	0.03	1.87	0
$BaSO_4$	0	0	0	0	80
P_2O_5	0.09	-	0.03	0.1	-
MnO	0.03	-	0.02	0.05	-
Cr_2O_3	0.02	-	-	0.02	-
SO_3	3.96	-	0.84	0.05	-
BaO	0.042	-	2.34	0.08	-
Cl	0.65	-	-	0.162	-
CuO	0.008	-	-	-	-
NiO	0.01	-	-	0.006	-
Rb_2O	-	-	-	0.05	-
SrO	0.03	-	0.04	0.02	-
ZnO	0.03	-	-	-	-
ZrO_2	0.03	-	-	0.009	-
LOI	2.89	1.10	41.7	4.47	6
Toplam	95.56	99.93	96.71	99,61	100

Deneysel program kapsamında LC^3 çimentosu oluşturmak için karışıma %55 klinker, %30 metakaolen ve %15 kireç taşı katılmış, Portland çimentosu içeriğinde mevcut alçı nedeniyle ayrıca alçı katılmamıştır. Alçıtaşı tozunun LC^3'li harçlardaki işlevi çimentonun hidratasyonunu özellikle ilk yaşlarda hızlandırmasıdır. C_3A'nın alçıtaşı tozu varlığında hidrasyonu, erken yaşlarda etrenjiti, sonraki yaşlarda sülfat kaynağı tükendiğinde monosülfoalüminatı oluşturur (Puerta-Falla ve diğ, 2015). Avet ve diğ. (2018) çalışmasında LC^3 harçları, 55 kısım çimento ve 30 kısım kalsine kil ve 15 kısım

kireçtaşı kombinasyonu kullanılarak dökülmüştür. Bu deneysel çalışmada kullanılan çimento da Portland çimentosu hidratasyonu için yeterli sülfat içeriğini (%3,96 SO3, Çizelge 3.1) sağlamaktadır.

3.1 Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzemeler ve Özelikleri

Deneysel çalışmanın ilk aşamasında özellikleri nispeten bilinen Portland Çimentosu (PC Cem I: %95-100 klinker) (TS EN 197-1, 2012) ile deney kapsamında üretilen LC^3 bağlayıcı kıyaslanmıştır. İkinci aşamada ise ses iletim kaybı değeri yüksek bir harç üretmek amacıyla üretilen LC^3 çimentosuna katılan agrega türleri, agrega dane boyutları, agrega/bağlayıcı oranı parametrelerinin harcın fiziksel, mekanik ve akustik özellikleri üzerindeki etkilerinin araştırılması için deney programı oluşturulmuştur. Deney programının adımları aşağıda görülmektedir:

- Bağlayıcı türünün (PC ve LC^3) harcın fiziksel, mekanik ve akustik özelikleri üzerindeki etkisi: Bu aşamada, özellikleri nispeten bilinen Portland Çimentosu (PC Cem I: %95-100 klinker, (TS EN 197-1, 2012) ile LC^3 bağlayıcı kıyaslanmıştır. Karışımlar maksimum dane boyutu 2 mm olan kum ile ve 2.75 agrega/bağlayıcı oranına göre hazırlanmıştır (ASTM-C595/C595M-21, 2021).
- Agrega dane boyutunun (8 mm ve 2 mm) maksimum 8 mm'ye çıkartılmasının harcın fiziksel, mekanik ve akustik özelikleri üzerindeki etkisi: Bağlayıcı türü LC^3 olarak sabit tutulmuştur. İnce daneli agregalar harcın gözenekliliğini artırdığından, iri daneli agregalarla gözenekli yapı azaltılabilmekte ve istenilen dolu yapı elde edilebilmektedir (Postacıoğlu, 1986, s. 203).
- Barit agregasının LC^3 harcının fiziksel, mekanik ve akustik özelliklerine etkisi: Bağlayıcı ve agrega maksimum dane boyutu sırasıyla LC^3 ve 8 mm olarak sabit tutulmuştur. Ağır malzemenin kütle yasasının etkisiyle ses iletim kaybını (STL) artıracağı varsayılarak, kum yerine harca kum ile aynı hacim oranına sahip ağır barit agregası eklenmiştir.
- Kauçuk agregasının LC^3 harcının fiziksel, mekanik ve akustik özelliklerine etkisi: Bağlayıcı ve agrega maksimum dane boyutu sırasıyla LC^3 ve 8 mm olarak sabit tutulmuştur. Kum yerine, kauçuk agregası kullanılmasının

malzemenin rijitliğini düşüreceği varsayımıyla, kumla aynı hacim oranında harca atık kauçuk eklenmiştir.

- Farklı türde agregaların birlikte kullanımının (barit ile kauçuk agregaları; 2B1R ve 1B2R) harcın fiziksel, mekanik ve akustik özelikleri üzerindeki etkisi: Bağlayıcı ve agrega maksimum dane boyutu sırasıyla LC^3 ve 8 mm olarak sabit tutulmuştur. Barit ve kauçuk agrega hacim oranları yer değiştirilerek sırasıyla 2-1 sonra 1-2 olarak belirlenmiştir. Amaç, her iki agrega türünün LC^3 harçlarının akustik özelliklerine katkısını gözlemlemektir.
- Agrega/bağlayıcı oranının (2, 2.75, 3.5) harcın fiziksel, mekanik ve akustik özelikleri üzerindeki etkisi: Bağlayıcı ve agrega maksimum dane boyutu sırasıyla LC^3 ve 8 mm olarak sabit tutulmuştur. Agrega/bağlayıcı oranı barit ve kauçuk agregalı harçlarda hacimce 2 ve 3.5 olarak değiştirilmiştir. Amaç bağlayıcı oranının LC^3 harçlarının akustik özeliklerine katkısını gözlemlemektir.

Deneysel çalışmada LC^3 bağlayıcısı Dhandapani ve Santhanam'ın (2017) çalışmasında verilen orana göre %55 Portland Çimentosu, %30 metakaolen ve %15 kireç taşı tozu kullanılarak hazırlanmıştır. Seçilen Portland çimento tipinin alçı içeriği (%3.96 SO_3) nedeniyle karışıma alçı katılmamıştır. ASTM C595/C595M-21 2021 Standardı esas alınarak PC ve LC^3 çimentolu harçlar kum katılarak hazırlanmıştır. Buna göre agrega/bağlayıcı oranı 2.75 olarak sabit tutulmuştur. ASTM C 109/C 109M standardında su/bağlayıcı oranı 0.48 olarak verilmektedir ve ASTM C 1437 standardına göre kıvam testi yapılmıştır. Standartta 100-115 olarak verilen kıvam değeri esas alınmış ve çalışmada tüm karışımlarda 113 olarak sabit tutulmuştur.

Çalışmada fiziksel ve mekanik deneyler için 40 x 40 x 160 mm boyutlarında kalıplar kullanılmış ve karışımlar hazırlanan kalıplara dökülmüş ve 24 saat üzeri sızdırmaz şekilde PE (polietilen) ile örtülü olarak bekletilmiştir. Daha sonra numuneler kalıptan çıkarılmış ve desikatörde 20±2°C'de ve %95±5 bağıl nemde 27 gün süreyle deney gününe kadar kürlenmiştir. Numuneler deneylerden önce etüvde 100±5°C'de sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Üretilen numuneler üzerinde birim hacim ağırlık (TS EN 1015-10), kapiler su emme katsayısı (TS EN 1925), kütlece su emme oranı (TS EN 13755) ve (TS EN 1936), ultrases hızı (TS EN 14579) gibi fiziksel

deneylerin yanı sıra eğilmede çekme ve basınç dayanımı (TS EN 196-1) mekanik deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Numuneler X-X-X formatında kodlanmıştır. Sırasıyla ilk harf grubu bağlayıcı türünü, ikinci grup agrega türünü ve maksimum dane boyutunu ve üçüncü grup hacimce agrega/bağlayıcı oranını temsil etmektedir. Deney serileri ve numune kodları 11 adet halinde Çizelge 3.2'de görülmektedir. Her bir test için altışer adet numune hazırlanmış olup toplam 66 adet numune üretilmiştir. Her bir deney değeri 6 adet numune ortalamasıdır, sadece basınç dayanımı testleri eğilmede çekme deneyi sonrası iki parça haline gelen numuneler üzerinde yapıldığı için 12 deney ortalamasını vermektedir. Hazırlanan malzeme ve karışım oranları Çizelge 3.3'te yer almaktadır.

Çizelge 3.2: Deney numuneleri ve ait oldukları karışım kodları.

Numune No	Numune Kodu	Numune Açıklaması Bağlayıcı Türü-Agrega Türü ve Boyutu- Agrega/Bağlayıcı Oranı (Ağırlıkça)
1	PC-S2-2.75	PC-Dere kumu 2 mm-2.75
2	LC-S2-2.75	LC3-Dere kumu 2 mm-2.75
3	LC-S8-2.75	LC3-Dere kumu 8 mm-2.75
4	LC-B8-2.75	LC3-Barit 8 mm-4.45
5	LC-R8-2.75	LC3-Kauçuk 8 mm-1.23
6	LC-2B1R8-2.75	LC3-2 Barit 1 Kauçuk 8 mm-3.37
7	LC-1B2R8-2.75	LC3-1 Barit 2 Kauçuk 8 mm-2.30
8	LC-2B1R8-2	LC3-2 Barit 1 Kauçuk 8 mm-2.45
9	LC-1B2R8-2	LC3-1 Barit 2 Kauçuk 8 mm-1.67
10	LC-2B1R8-3.5	LC3-2 Barit 1 Kauçuk 8 mm-4.3
11	LC-1B2R8-3.5	LC3-1 Barit 2 Kauçuk 8 mm-2.93

PC: Portland Çimentosu,
LC3: %55 klinker, %30 metakaolen, %15 kireçtaşı tozu (Limestone Calcined Clay Cements),
S: Dere kumu (Sand),
B: Barit,
R: Kauçuk (Rubber)

Çizelge 3.3: Deneylerde belirlenen malzeme ve hacimce karışım oranları.

Numune No	Numune Kodu	Agrega/ Bağlayıcı (Ağırlıkça)	Bağlayıcı (g)			Agrega (g)			Su/ Bağlayıcı
			PC	Metakaolen	Kireçtaşı tozu	Kum	Barit	Kauçuk	
1	PC-S2-2.75	2.75	250	-	-	687.5	-	-	0.48
2	LC-S2-2.75	2.75	137.5	75	37.5	687.5	-	-	0.68
3	LC-S8-2.75	2.75	137.5	75	37.5	687.5	-	-	0.55
4	LC-B8-2.75	4.45	137.5	75	37.5	-	1113.20	-	0.65
5	LC-R8-2.75	1.23	137.5	75	37.5	-	-	306.72	0.72
6	LC-2B1R8-2.75	3.37	137.5	75	37.5	-	742.14	102.24	0.58
7	LC-1B2R8-2.75	2.30	137.5	75	37.5	-	371.06	204.48	0.60
8	LC-2B1R8-2	2.45	137.5	75	37.5	-	539.75	74.35	0.55
9	LC-1B2R8-2	1.67	137.5	75	37.5	-	269.86	148.71	0.56
10	LC-2B1R8-3.5	4.3	137.5	75	37.5	-	944.55	130.12	0.70
11	LC-1B2R8-3.5	2.93	137.5	75	37.5	-	472.27	260.25	0.71

"ASTM C 595M-21 Standard Specification for Blended Hydraulic Cements" Standardına göre kıvam 113 olarak sabit tutulmuştur.

Bu çalışmada amaç, ses iletim kaybı değeri artırılmış bir harç üretilmesi olduğu için hazırlanan tüm serilerin ses iletim kaybı değerlerini ölçmek üzere silindirik kalıplar hazırlanmıştır. Ses iletim kaybı ölçümünde kullanılan Bruel & Kjaer Empedans tüpüne

uygun olarak 60-90 ve 120 mm kalınlığında ve 28 ve 98 mm çapındaki kalıplara harç karışımları dökülmüştür. 28 mm çapındaki numuneler gelen sesin yüksek frekansta olduğu durumdaki deneyler için, 98 mm çapındaki numuneler ise gelen sesin düşük frekansta olduğu durumdaki deneyler için üretilmiştir.

Karışımlara ait ses iletim kaybı özeliklerini belirlemek için üretilen numune boyutları ve sayıları Çizelge 3.4' te verilmektedir. Ses iletim kaybı ölçümleri için hazırlanan numuneler, bir seri için on sekiz adet iken 11 seri için toplam 198 adettir.

Tüm deney sürecinde üretilen numune sayısı 264 adettir.

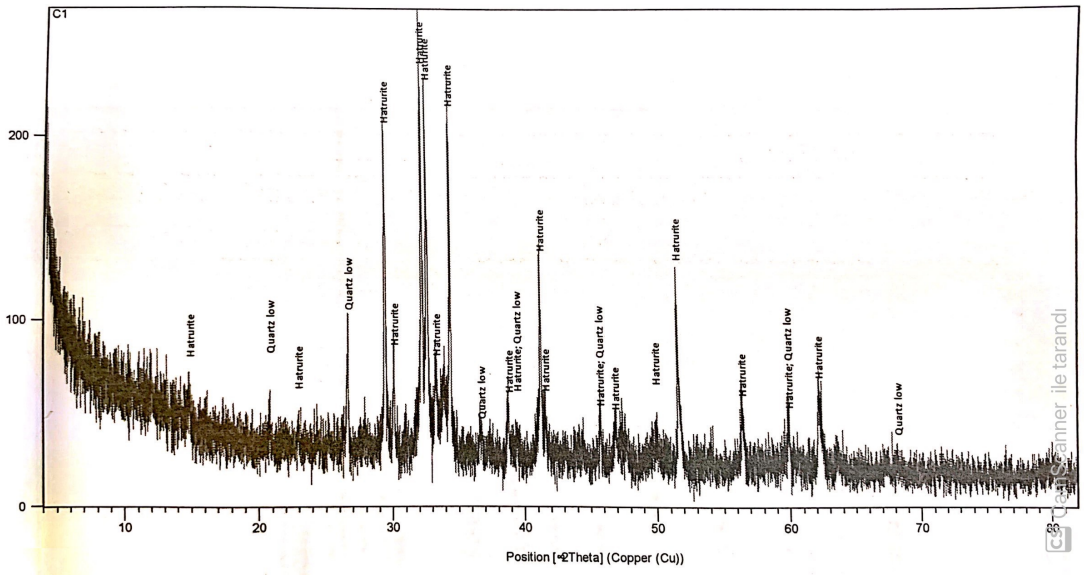
Çizelge 3.4: Ses iletim kaybı ölçümleri için hazırlanan numuneler.

Numune No	Numune Kodu	28 mm ve 98 mm çapları için kalınlık (mm)			Toplam
1	PC-S2-2.75	60 mm x 3'er tane	90 mm x 3'er tane	120 mm x 3'er tane	18 adet
2	LC-S2-2.75	60 mm x 3'er tane	90 mm x 3'er tane	120 mm x 3'er tane	18 adet
3	LC-S8-2.75	60 mm x 3'er tane	90 mm x 3'er tane	120 mm x 3'er tane	18 adet
4	LC-B8-2.75	60 mm x 3'er tane	90 mm x 3'er tane	120 mm x 3'er tane	18 adet
5	LC-R8-2.75	60 mm x 3'er tane	90 mm x 3'er tane	120 mm x 3'er tane	18 adet
6	LC-2B1R8-2.75	60 mm x 3'er tane	90 mm x 3'er tane	120 mm x 3'er tane	18 adet
7	LC-1B2R8-2.75	60 mm x 3'er tane	90 mm x 3'er tane	120 mm x 3'er tane	18 adet
8	LC-2B1R8-2	60 mm x 3'er tane	90 mm x 3'er tane	120 mm x 3'er tane	18 adet
9	LC-1B2R8-2	60 mm x 3'er tane	90 mm x 3'er tane	120 mm x 3'er tane	18 adet
10	LC-2B1R8-3.5	60 mm x 3'er tane	90 mm x 3'er tane	120 mm x 3'er tane	18 adet
11	LC-1B2R8-3.5	60 mm x 3'er tane	90 mm x 3'er tane	120 mm x 3'er tane	18 adet
					198 adet

3.1.1 LC^3 bağlayıcısı ve üretiminde yer alan malzemeler

3.1.1.1 Çimento

Araştırmada kullanılan çimento klinkeri ÇimSa tarafından tedarik edilmiş, Cem-I 42.5 R – Portland Çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan Portland Çimentosuna ait XRD Analizi Şekil 3.1'de bulunabilir. Portland çimentosunun dane boyutu dağılımı Şekil 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.1: Portland çimentosu XRD analizi.

Çimentonun özgül ağırlığının tespiti

Araştırmada kullanılan PC çimentosu klinkerinin özgül ağırlık tayininde piknometre yöntemi kullanılmıştır. Piknometre balon şeklinde cam bir ölçü kabıdır. Özgül ağırlık tayininde gaz yağından yararlanılmıştır ve balonun doldurulması için cam bir huni kullanılmıştır. İlk hacim tespit edilmiştir. Hassas terazi kullanılarak 45 gram etüvde kurutulmuş çimento tartılmış, kuru bir cam huni ile balonun içerisinde yerleştirilmiştir. Balon sabit seviyeye geldikten sonra son hacim okunmuştur. Buna bağlı olarak çimentonun özgül ağırlığı 3.15 gr/cm^3 olarak bulunmuştur.

3.1.1.2 Metakaolen

Araştırmada kullanılan metakaolen Kaolin firmasından tarafından tedarik edilmiştir. Malzeme, bünyesinde bulundurduğu nemin uzaklaştırılması için, 90 ^{o}C'deki Memmert Marka havalandırmalı etüve yerleştirilmiş ve değişmez kütleye ulaşıncaya kadar etüvde bekletilmiştir. Malzemenin etüvde kurutulması Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Metakaolenin dane boyutu dağılımı Şekil 3.7'de verilmiştir.

Metakaolenin özgül ağırlığının tespiti

Deneyde kullanılan metakaolen, TS 699'a (2009b) göre 90°C'de etüve konulmuş ve değişmez ağırlığa ulaşıncaya kadar etüvde bekletilmiştir (Şekil 3.2). Etüvden çıkarılan malzeme, dış ortam neminden etkilenmemesi için desikatörde soğumaya bırakılmıştır. Camdan yapılmış bir kap su ile doldurulmuş ve kabın içine hava girmeyecek şekilde cam lamel kapatılarak su dolu cam kap hassas terazide tartılmıştır. Deneyde kullanılan

suyun özgül ağırlığı 1 gr/cm^3 kabul edilmiştir. Cam kabın içine 19.6 gr'lık metakaolen yavaşça ilave edilip suyun içine tamamı batırıldıktan sonra cam kabın ağzı kapatılarak bir gün süreyle beklemeye alınmıştır. Bekleme süresi sonunda içinde hiçbir hava kabarcığı olmadığından emin olunan cam kap hassas terazide tekrar tartılmış ve özgül ağırlık hesabı yapılmıştır. Metakaolenin özgül ağırlık hesabı Çizelge 3.5'te sunulmuştur.



Şekil 3.2: Metakaolenin etüvde kurutulması.

Çizelge 3.5: Metakaolen özgül ağrılık hesabı.

Su dolu kap+lamel (gr)	**Metakaolen (gr)**	**Toplam ağırlık (gr)**	**Özgül ağırlık hesabı**	**Sonuç (gr/cm^3)**
347.37	19.6	358.4	347.37+19.6= 366.97 366.97-358.4= 8.57 19.6/8.57= 2.29	2.29

Metakolene Ait Puzolanik Aktivite Deneyi

Bu bölümde metakaolenin, bağlayıcılık özeliğini araştırmak amacıyla TS 25'te (2008) belirtilen puzolanik aktivite deneyi yapılmıştır. Puzolanik aktivite, doğal puzolanın ince olarak öğütüldükten sonra sönmüş kireç, [$Ca(OH)_2$] ve su ile oluşturduğu hidrolik özelliğin basınç dayanımı cinsinden tespit edilmesidir (TS 25, 2008). TS 25 (2008) standardına göre yapılacak olan puzolanik aktivite deneyinde kullanılacak olan doğal puzolanın 0,5 mm – 1,0 mm tane büyüklüğünde öğütüldükten sonra (105 ±5) °C'ta kurutulup sabit kütleye ulaşması sağlanır. TS EN 196-6 (2010) standardındaki deney

uygulandığında, öğütülen doğal puzolan göz açıklığı 200 mikron olan elek üstü kalan miktar kütlece oranla en fazla %0.6 ve göz açıklığı 90 mikron olan elek üstü kalan miktarı kütlece oranla en fazla %8 olması gerekmektedir (TS, 2008). Puzolanik aktivite deneyi TS EN 196-1'e (2009) uygun şekilde gerçekleştirilmiştir. Buna göre, 3 adet deney numunesi için gerekli malzemeler sönmüş kireç, doğal puzolan, standart kum ve sudan oluşur.

Puzolanik Aktivite Deneyi Karışım Hesapları ve Deney Koşulları

Puzolanik aktivite deneyi, puzolanik hammadde (metakaolen), sönmüş kireç, standart kum ve su kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu deney TS EN 196-1'e (2009a) uygun olarak yapılır. Her deney için en az üç numune hazırlanır. Üç adet deney numunesi hazırlamak için gerekli malzeme miktarları Çizelge 3.6'da verilmiştir (TS 25, 2008).

Çizelge 3.6: Puzolanik aktivite deneyi için karışım miktarı (TS 25, 2008).

Malzeme	Kullanılacak Miktar (gr)
Sönmüş kireç	150
Puzolan	T=2x150x (puzolan özgül kütlesi / kirecin özgül kütlesi)
Standart kum	1350
Su	0.5(150+T)

Sönmüş kirecin özgül ağırlığının tespiti

Deneyde kullanılan bir miktar sönmüş kireç, TS 699'a (2009) göre 70°C'de etüve konulmuş ve değişmez ağırlığa ulaşıncaya kadar etüvde bekletilmiştir. Etüvden çıkarılan malzeme, dış ortam neminden etkilenmemesi için desikatörde soğumaya bırakılmıştır. Daha sonra kireç, Vibra Marka 0.01 gr hassasiyetli terazide tartılmıştır.

Sönmüş kirecin özgül ağırlık hesabı Çizelge 3.7'de belirtilmiştir.

Çizelge 3.7: Sönmüş kirecin özgül ağırlık hesabı.

Numune Adı	**Su dolu kap+lamel (gr)**	**Sönmüş kireç (gr)**	**Toplam ağırlık (gr)**	**Özgül ağırlık hesabı**	**Sonuç (gr/cm^3)**
Sönmüş Kireç	288.76	34.93	307.30	288.76+34.93=323.69 323.69-307.30=16.39 34.93/16.39=2.13	2.13
Sönmüş Kireç	281.86	19.56	292.43	281.86+19.56=301.42 301.42-292.43=8.99 19.56/8.99=2.17	2.17
Sönmüş Kireç Özgül Ağırlık Ortalaması					2.15

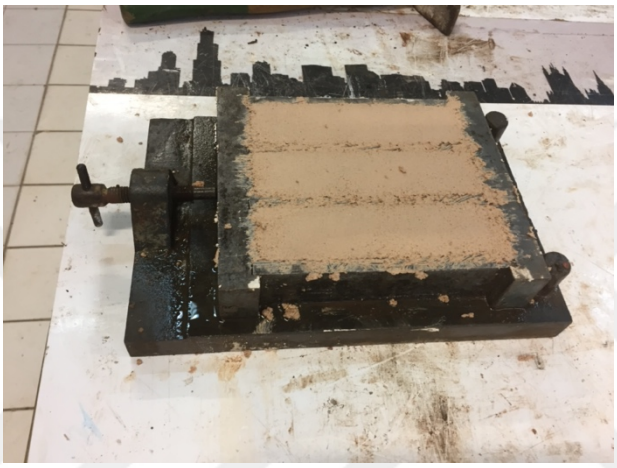
Yukarıdaki hesaplama sonucunda 2 kez özgül ağırlık deneyi yapılan sönmüş kirecin özgül ağırlığı ortalama 2.15 gr/cm^3 bulunmuştur.

Metakaolenin puzolanik aktivite deneyi için hesaplanan karışım miktarları Çizelge 3.8'de belirtilmiştir.

Çizelge 3.8: Puzolanik aktivite deneyi için hesaplanan karışım miktarları.

	Puzolan (gr)	**Kuru kireç (gr)**	**Kum (gr)**	**Harca eklenen su (gr)**	**Harcın su/katı oranı (%)**
3 numune için	318.13	150	1350	234	12

Malzemelerin belirtilen oranda karıştırılmasıyla üretilen harç, 4x4x16 cm'lik standart kalıplara yerleştirilmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3: Puzolanik aktivite deneyi için harcın kalıplara yerleştirilmesi.

Numuneler TS EN 196-1'e (2009) göre eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı deneylerine tabi tutulmuştur.

Eğilmede çekme dayanımı (R_f), aşağıdaki denklemle (3.1) ifade edilir (TS EN 196-1, 2009):

$$R_f=(1.5xF_f\,xl)/(bxh^2) \quad (3.1)$$

Rf : Eğilmede çekme dayanımı, (MPa)

Ff : Prizma şekilli numunenin kırıldığı anda ortasına uygulanan yük

l : Mesnet silindirleri arasındaki mesafe, 100 mm,

b: Prizma şekilli numunenin kare kesitinin kenar uzunluğu, mm

h : Prizma şekilli numunenin yüksekliği, mm

Basınç dayanımı (R_c), aşağıdaki denklemle (3.2) ifade edilir (TS EN 196-1, 2009):

$$R_c =F_c/(40xb) \quad (3.2)$$

R_c : Basınç dayanımı, (MPa)

F_c : Kırılma anındaki en büyük yük

40 : Basınç uygulanan yüzeyin alt ve üst kısmına konulan lama genişliği, mm

Puzolanik aktivite deneyi sonuçları ve değerlendirilmesi

TS 25'e (2008) göre hazırlanan numunelerin 7 günlük eğilmede çekme dayanımı en az 1 ve 7 günlük basınç dayanımı en az 4 MPa olmalıdır (TS 25, 2008). Basınç dayanımı deneyine ait sonuçlar Çizelge 3.9'da, puzolanik aktivite deneyine ait sonuçlar Çizelge 3.10'da yer almaktadır. Basınç dayanımı deneyine tabii tutulan numuneler Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'te yer almaktadır.

Çizelge 3.9: Numunelerin eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı deney sonuçları.

							mesnet silindirleri arası mesafe 100 mm		
	Döküm Tarihi	Kırma Tarihi	a (mm)	b (mm)	L (mm)	Ağırlık (g)	Eğilme (N)	Basınç (N)	Basınç (N)
MK 1	01.08.2019	08.08.2019	42.42	40.29	160.47	522.52	1210	33800	33900
MK 2			41.92	40.23	160.37	526.25	1060	32200	32300
MK 3			41.91	39.93	160.6	524.9	1350	29300	29600



Şekil 3.4: Numunelerin eğilmede çekme dayanımı deneyine tabi tutulması.



Şekil 3.5: Eğilmede çekme deneyinde kırılan numuneler.

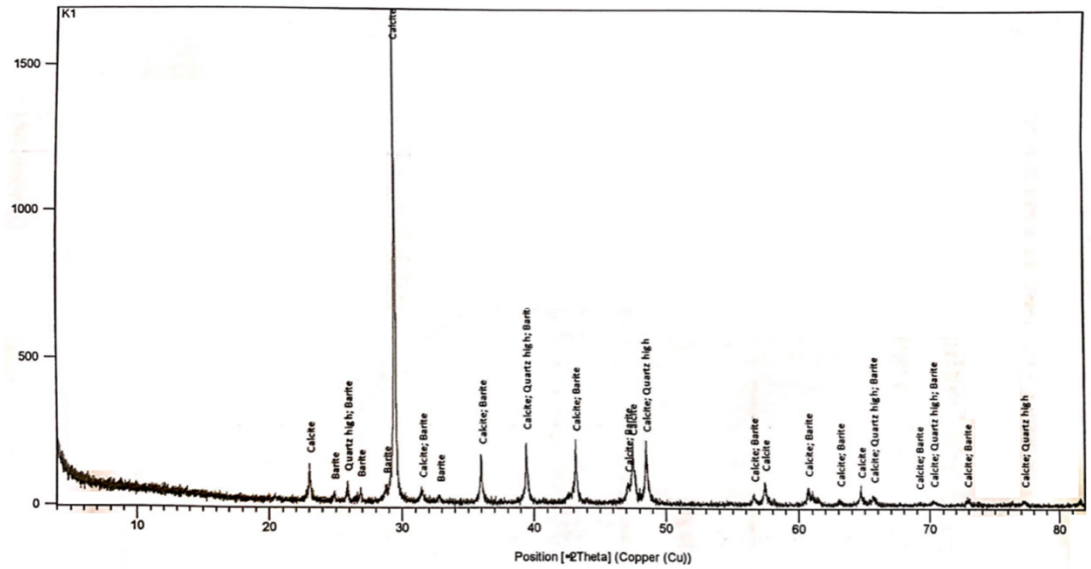
Çizelge 3.10: Puzolanik aktivite deneyi sonuçları.

	Basınç dayanımı (MPa)	**Eğilmede çekme dayanımı (MPa)**
TS 25	≥4	≥1
Puzolanik aktivite deneyi	19.77	4.00

Sonuç olarak, metakaolenin puzolanik özelikte olduğu belirlenmiş ve deneysel çalışmaya başlanmıştır.

3.1.1.3 Kireç taşı tozu

Araştırmada kullanılan kireçtaşı tozu İstanbul Teknik Üniversitesi-TICEM tarafından tedarik edilmiştir. Malzeme, bünyesinde bulundurduğu nemin uzaklaştırılması için, 90 ^{o}C'deki Memmert Marka havalandırmalı etüve yerleştirilmiş ve değişmez kütleye ulaşıncaya kadar etüvde bekletilmiştir. Kireçtaşı tozunun XRD analizi Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6: Kireç taşı tozu XRD analizi.

Kireç taşı tozunun özgül ağırlığının tespiti

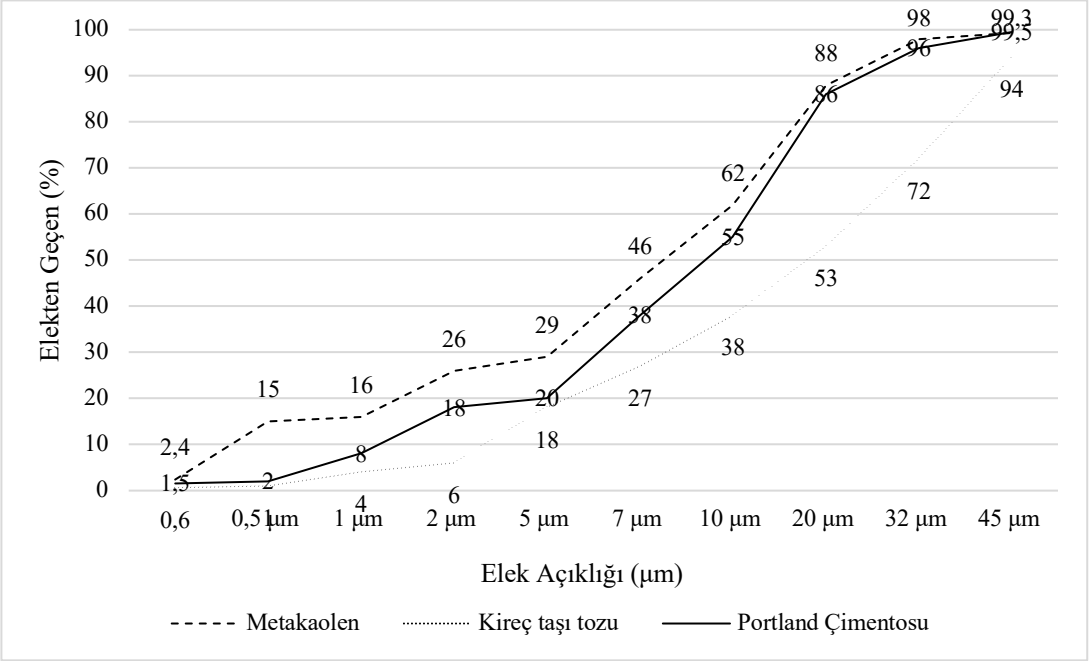
Kireç taşı tozunun özgül ağırlık hesabı Çizelge 3.11'de belirtilmiştir.

Çizelge 3.11: Kireç taşının özgül ağrılık hesabı.

Numune Adı	**Su dolu kap+lamel (gr)**	**Kireç taşı tozu (gr)**	**Toplam ağırlık (gr)**	**Özgül ağırlık hesabı**	**Sonuç (gr/cm^3)**
Kireç Taşı Tozu	348.20	52.65	380.93	348.20+52.65=400.85 400.85-380.93=19.92 52.65/19.92=2.64	2.64

Kireç taşı tozunun dane boyutu dağılımını belirlemek amacıyla 45, 32, 20, 10, 7, 5, 2, 1 ve 0,5 µm göz açıklığına sahip elekler kullanılmıştır. 45 µm göz açıklığındaki elek en üstte ve 0,5 µm göz açıklığındaki elek en altta olacak şekilde elekler sıralanmıştır. 70 °C etüvde kurutulmuş 100 gr kireç taşı tozu elek üzerine konulmuş ve elek dizisinin üzeri kapatılarak 15 dakika elenmiştir. Sırasıyla bütün eleklerden geçen malzeme miktarı ölçülmüştür. Her iki tartım arasındaki fark 0.1'den daha az oluncaya kadar elemeye devam edilmiştir. Kireç taşı tozunun dane boyutu dağılımı Şekil 3.7'de verilmiştir.

Portland Çimentosu, metakolen ve kireçtaşı tozunun dane boyutu dağılımı LC[3] çalışmalarıyla karşılaştırılmış ve deneysel çalışmada kullanılan malzemelerin literatüre uygun olduğu görülmüştür.



Şekil 3.7: Deneysel çalışmada kullanılan metakolen, kireçtaşı tozu ve Portland çimentosuna ait dane boyutu dağılımı.

3.1.2 Agregalar

Araştırmada PC'lu harçla karşılaştırma yapabilmek amacıyla dere kumu agregası, LC^3'li harçta ağırlığı artırmak amacıyla barit agregası ve sertlik kontrolünü sağlamak amacıyla atık kauçuk agregası kullanılmıştır. Bu bölümde araştırmada kullanılan bu agregalar hakkında bilgi verilecektir.

3.1.2.1 Barit agregası

Araştırmada kullanılan barit Şakirağaç, Isparta'dan Ado Başer Madencilik tarafından temin edilmiştir. Barit agregasının XRF analizi fabrikadan temin edilmiştir.

Barit agregasının özgül ağırlığının tespiti

Deneyde kullanılan bir miktar ince ve iri daneli barit (Şekil 3.8 ve Şekil 3.9), TS 699'a (2009) göre 70°C'de etüve konulmuş ve değişmez ağırlığa ulaşıncaya kadar etüvde bekletilmiştir. Etüvden çıkarılan malzeme, dış ortam neminden etkilenmemesi için desikatörde soğumaya bırakılmıştır. Daha sonra barit, Vibra Marka 0.01 gr hassasiyetli terazide tartılmıştır.

Baritin özgül ağırlık hesabı Çizelge 3.12'de belirtilmiştir.

Çizelge 3.12: Baritin özgül ağırlık hesabı.

Numune Adı	**Su dolu kap+lamel (gr)**	**Barit (gr)**	**Toplam ağırlık (gr)**	**Özgül ağırlık hesabı**	**Sonuç (gr/cm^3)**
Barit (ince dane-musluk suyu)	347.37	54.88	389.35	347.37+54.88= 402.25 402.25-389.35= 12.9 54.88/12.9=4.25	4.25
Barit (iri dane-musluk suyu)	282.91	61.91	330.09	282.91+61.91=344.82 344.82-330.09=14.73 61.91/14.73=4.20	4.20
Barit (ince dane-saf su)	347.37	55.85	390.13	347.37+55.85=403.22 403.22-390.13=13.09 55.85/13.09=4.27	4.27
Barit (iri dane-saf su)	282.91	60.19	328.46	282.91+60.19=343.1 343.1-328.46= 14.64 60.19/328.46=4.11	4.11
Barit Özgül Ağırlık Ortalaması					**4.21**

Yukarıdaki hesaplama sonucunda ince (Şekil 3.8) ve iri (Şekil 3.9) daneli baritin saf su ve musluk suyuyla özgül ağırlık deneyleri yapılmış, baritin özgül ağırlığı ortalama 4.21 gr/cm^3 bulunmuştur.



Şekil 3.8: İnce daneli barit numunesi.



Şekil 3.9: İri daneli barit numunesi.

Barit agregasının dane boyutu dağılımını belirlemek amacıyla 8, 4, 2, 1, 0,5 ve 0,25 mm göz açıklığına sahip elekler kullanılmıştır. 8 mm göz açıklığındaki elek en üstte ve 0,25 mm göz açıklığındaki elek en altta olacak şekilde elekler sıralanmıştır. 70 °C etüvde kurutulmuş barit elek üzerine konulmuş ve elek dizisinin üzeri kapatılarak15 dakika elenmiştir. Sırasıyla bütün eleklerden geçen malzeme miktarı ölçülmüştür. Her iki tartım arasındaki fark 0.1'den daha az oluncaya kadar elemeye devam edilmiştir. Barit agregasının dane boyutu dağılımı Şekil 3.16'da verilmiştir.

3.1.2.2 Atık kauçuk agregası

Bu çalışmada kullanılan atık kauçuk Gazisan fabrikasından temin edilmiştir. Kauçuk çalışmada kullanılmadan önce fabrikadan, içerisindeki çelik ve kumaş gibi parçalardan temizlenmiş olarak getirilmiştir.

Kauçuk agregasının özgül ağırlığı

Deneyde kullanılan bir miktar atık kauçuk agregası değişmez ağırlığa ulaşıncaya kadar etüvde bekletilmiştir. Etüvden çıkarılan malzeme, dış ortam neminden etkilenmemesi için desikatörde soğumaya bırakılmıştır. Daha sonra kauçuk, Vibra Marka 0.01 gr hassasiyetli terazide tartılmıştır.

Kauçuğun özgül ağırlık hesabı Çizelge 3.13'te belirtilmiştir. Suya atıldığında dibe çökmeyen kauçuğun özgül ağırlık tayininde gaz yağı kullanılmıştır (Şekil 3.10 ve Şekil 3.11).

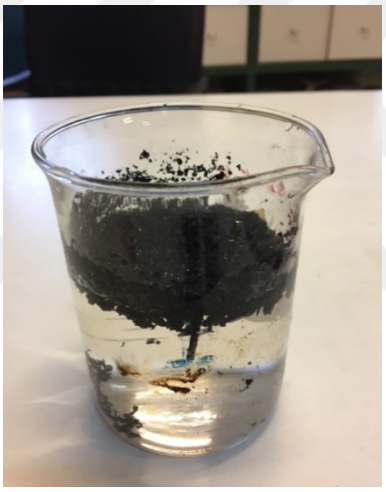
Çizelge 3.13: Kauçuğun özgül ağırlık hesabı.

Numune Adı	Boş kap+kapak (gr)	su dolu kap+lamel (gr)	gaz yağı dolu kap+lamel (gr)	Malzeme (gr)	Toplam (gr)	1. adım (kap hacmi, cm^3)	2. adım gaz yağı (gr)	3. adım gaz yağının özgül ağırlığı (gr/cm^3)
Kauçuk	164.58	310.85	280.61	20.00	286.93	310.85-164.58=146.27	280.61-164.58=116.03	116.03/146.27=0.79

4. Adım: Taşan gaz yağının ağırlığı hesabı
   280.61+20=300.81 gr
   300.81-286.93=13.88 gr

5. Adım: Kauçuk hacmi
   13.88/0.79= 17.57 cm^3

6. Adım: Kauçuk özgül ağırlığı
   20/17.57=1.14 gr/cm^3



Şekil 3.10: Kauçuğun suda çökmediğini gösteren görsel.



Şekil 3.11: Kauçuğun gaz yağında çöktüğünü gösteren görsel.

Kauçuk agregasının dane boyutu dağılımını belirlemek amacıyla 8, 4, 2, 1, 0,5 ve 0,25 mm göz açıklığına sahip elekler kullanılmıştır. 8 mm göz açıklığındaki elek en üstte ve 0,25 mm göz açıklığındaki elek en altta olacak şekilde elekler sıralanmıştır. 70 °C etüvde kurutulmuş kauçuk parçacıkları elek üzerine konulmuş ve elek dizisinin üzeri kapatılarak15 dakika elenmiştir. Sırasıyla bütün eleklerden geçen malzeme miktarı ölçülmüştür. Her iki tartım arasındaki fark 0.1'den daha az oluncaya kadar elemeye devam edilmiştir. Kauçuk agregasının dane boyutu dağılımı Şekil 3.16'da verilmiştir.

3.1.2.3 Dere kumu agregası

Bu çalışmada kullanılan dere kumu İstanbul Teknik Üniversitesi Ticem'den temin edilmiştir.

Dere kumu agregasının özgül ağırlığı

Deneysel çalışmada kullanılan bir miktar dere kumu, TS'a (2009) göre 70°C'de etüve konulmuş ve değişmez ağırlığa ulaşıncaya kadar etüvde bekletilmiştir (Şekil 3.13). Etüvden çıkarılan malzeme, dış ortam neminden etkilenmemesi için desikatörde soğumaya bırakılmıştır. Daha sonra dere kumu, Vibra Marka 0.01 gr hassasiyetli terazide tartılmıştır. Dere kumu agregasına ait XRD analizi Şekil 3.13'te verilmiştir.



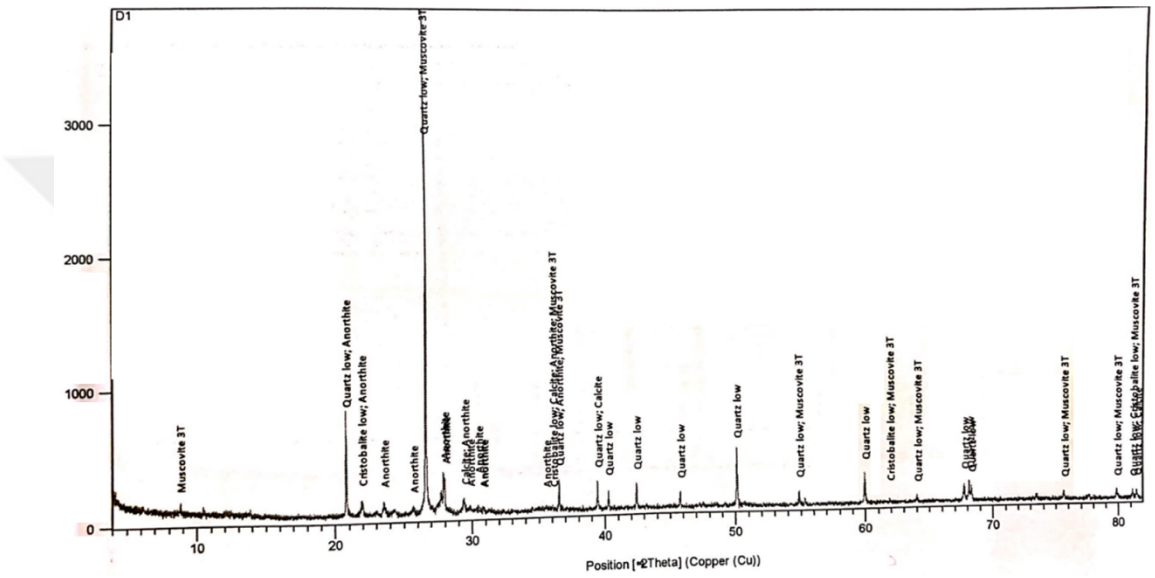
Şekil 3.12: Dere kumunun etüvde kurutulması.

Dere kumunun özgül ağırlık hesabı Çizelge 3.14'te belirtilmiştir.

Çizelge 3.14: Dere kumunun özgül ağırlık hesabı.

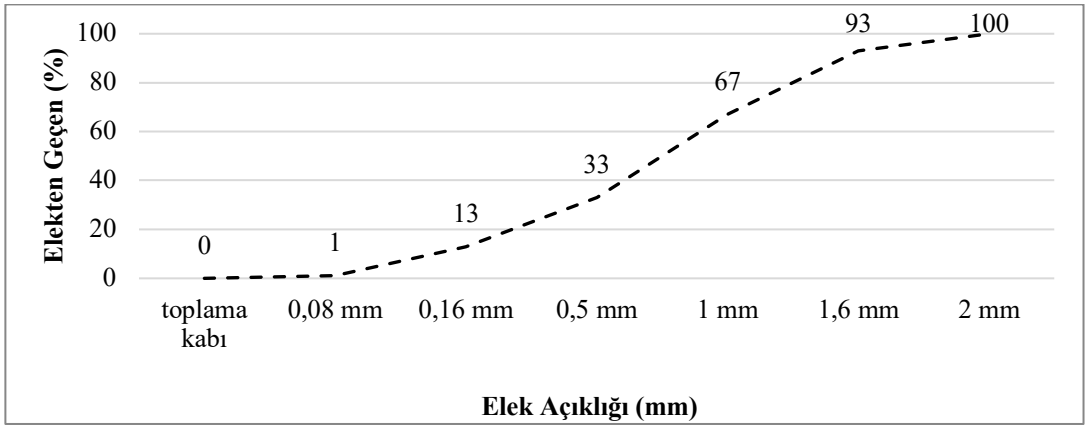
Numune Adı	Su dolu kap+lamel (gr)	Dere Kumu (gr)	Toplam ağırlık (gr)	Özgül ağırlık hesabı	Sonuç (gr/cm^3)
Dere Kumu	281.32	42.88	307.45	281.32+42.88=324.2 gr 324.2-307.45= 16.75 gr 42.88/16.75=2.56 gr/cm^3	2.56

Yukarıdaki hesaplama sonucunda dere kumunun özgül ağırlığı 2.56 gr/cm^3 bulunmuştur.

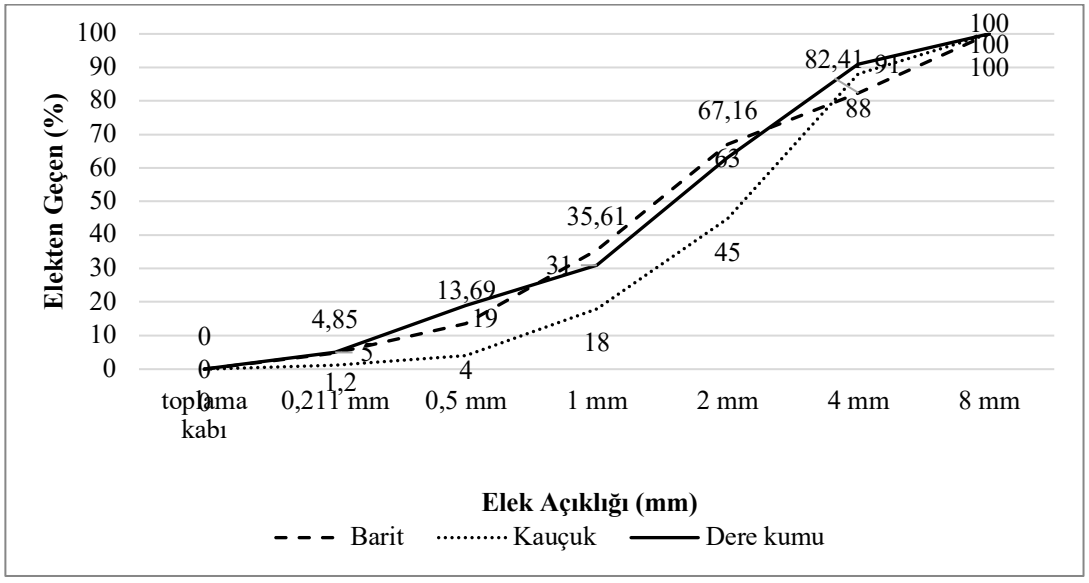


Şekil 3.13: Dere kumu XRD analizi.

Maksimum dane boyutu 2 mm olan dere kumu agregasının dane boyutu dağılımını belirlemek amacıyla 2, 1.6, 1, 0.5, 0.16 ve 0.08 mm göz açıklığına sahip elekler kullanılmıştır. 2 mm göz açıklığındaki elek en üstte ve 0.08 mm göz açıklığındaki elek en altta olacak şekilde elekler sıralanmıştır. Maksimum dane boyutu 8 mm olan dere kumu agregasının dane boyutu dağılımını belirlemek amacıyla 8, 4, 2, 1, 0.5 ve 0.25 mm göz açıklığına sahip elekler kullanılmıştır. 8 mm göz açıklığındaki elek en üstte ve 0.25 mm göz açıklığındaki elek en altta olacak şekilde elekler sıralanmıştır. 70 °C etüvde kurutulmuş dere kumu elek üzerine konulmuş ve elek dizisinin üzeri kapatılarak 15 dakika elenmiştir. Sırasıyla bütün eleklerden geçen malzeme miktarı ölçülmüştür. Her iki tartım arasındaki fark 0.1'den daha az oluncaya kadar elemeye devam edilmiştir. 2 mm'lik dere kumu agregasının dane boyutu dağılımı Şekil 3.14'te, 8 mm'lik dere kumu agregasının dane boyutu dağılımı Şekil 3.15'te verilmiştir.



Şekil 3.14: Maksimum dane boyutu 2 mm olan dere kumuna ait dane büyüklüğü dağılımı.



Şekil 3.15: Maksimum dane boyutu 8 mm olan agregalara ait dane büyüklüğü dağılımı.

3.2 Deneysel Yöntem

3.2.1 Fiziksel özeliklerin belirlenmesi için yapılan deneyler

Hazırlanan LC^3 ve Portland çimentosu bağlayıcıları ile oluşturulmuş harç numuneleri üzerinde harç tazeyken ve sertleştikten sonra çeşitli fiziksel deneyler uygulanmıştır. Taze harcın kıvamı, birim hacim ağırlığı bulunmuş; sertleşmiş harç numuneleri üzerinde ise, birim hacim ağırlık, özgül ağırlık, rötre, kapiler su emme katsayısı, atmosfer basıncı altında su emme, ultrases hızı ve elastiklik modülü deneyleri gerçekleştirilmiştir. Aşağıda sırasıyla bu testlerin gerçekleştirilmesi sırasında standartlar esas alınarak uygulanan yöntemler yer almaktadır.

3.2.1.1 Özgül ağırlık deneyi

Özgül ağırlık deneyi, Bölüm 3.1'de detaylı olarak anlatıldığı gibi gerçekleştirilmiştir. Numuneler, 70°C'de değişmez ağırlığa ulaşıncaya kadar kurutulduktan ve desikatörde soğutulduktan sonra 90 μm'lik elekten elenmiştir. Elenen malzemeden 40 gr alınarak özgül ağırlık deneyine tabi tutulmuştur.

3.2.1.2 Birim hacim kütle deneyi

Bir cismin birim hacim ağırlığı, kuru numune kütlesinin görünür hacmine oranı şeklinde ifade edilmektedir. Görünür hacim ise numunenin boşluklarının da dahil olduğu dış yüzeyiyle sınırlı hacmidir (TS EN 1936, 2010). Şekilleri düzgün olmayan cisimlerde birim hacim ağırlığı su emme deneyinden yararlanılarak yapılabilmektedir (TS EN 1015-10, 2001). Bu ölçümlere göre numunelerin 28 gün sonunda ulaştıkları birim hacim değerleri sonuçları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

3.2.1.3 Su emme deneyi

Kütlece ve hacimce su emme deneyi

Harcın içerisindeki boşluklara fiziksel olarak su dolması durumuna "su emme" denilmektedir. Su emme deneyi, kütlece ve hacimce olmak üzere iki şekilde hesap edilir. Deney numuneleri, (100±5)°C'de sabit kütleye ulaşıncaya kadar kurutulur. (24±2) saat ara ile yapılan ardışık iki tartım arasındaki fark, ilk kütlenin %0.1'den daha büyük değilse, sabit kütleye ulaşılmış olduğu kabul edilir. Deney numuneleri, oda sıcaklığına (20±5)°C erişilinceye kadar bir desikatör içerisinde muhafaza edilir (TS EN 13755, 2001).

Deney numuneleri kurutulduktan sonra 0.01 gr doğrulukla tartılır (md). Numuneler su haznesi içerisindeki desteklerin üzerine yerleştirilir. Her bir deney numunesi arasındaki mesafe en az 15 mm olmalıdır. Daha sonra deney numunesi yüksekliğinin yarısına kadar (20±10)°C sıcaklıkta şebeke suyu ilave edilir (t0 zamanı). Zaman olarak t0+(60±5) dakikaya gelindiğinde, su seviyesi deney numunesi yüksekliğinin 3/4'üne ulaşıncaya kadar şebeke suyu ilave edilir. Zaman olarak t0+(120±5) dakikaya gelindiğinde, deney numuneleri (25±5) mm su derinliğine tamamen batırılıncaya kadar şebeke suyu ilave edilir (TS EN 13755, 2001).

Zaman olarak t0+(48±2) saate gelindiğinde numuneler sudan çıkarılır, hızlı bir şekilde nemli bir bez ile kurulanır ve daha sonra bir dakika içerisinde 0.01 gr doğrulukla tartılır

(mi). Deney numuneleri suya tekrar daldırılır ve deneye devam edilir. Her (24±2) saatlik süre sonrasında deney numuneleri sudan çıkarılır, nemli bir bezle hızlı bir şekilde kurulanır ve bir dakika içerisinde 0.01 gr doğrulukla tartılır. Deney numunelerinin ardışık kütleleri (m_i) kaydedilir (TS EN 13755, 2001). Atmosfer basıncı altında su emme deneyi sonuçları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Deney numuneleri, sabit bir kütleye ulaşıncaya kadar deneye devam edilir. İki ardışık tartım arasındaki fark, ilk kütlenin %0.1'den büyük değilse sabit kütleye ulaşılmış olduğu kabul edilir. Son tartma işleminden elde edilen değer, doymuş deney numunesinin kütlesidir (m_s) (TS EN 13755, 2001).

Deneylerin uygulanması şekillerle Ek A'da sunulmuştur.

Atmosfer basıncı altındaki kütlece su emme değeri, aşağıdaki denklemle (3.3) ifade edilir (TS EN 13755, 2001):

$$A_b = [(m_s - m_d) / m_d] \times 100 \quad (3.3)$$

A_b : Atmosfer basıncı altındaki kütlece su emme değeri, (%)

m_d : Kuru deney numunesinin kütlesi, (gr)

m_s : Doymuş deney numunesinin kütlesi, (gr)

Atmosfer basıncı altındaki hacimce su emme (açık gözeneklilik, görünür porozite) ise, numunenin açık gözeneklerinin hacminin görünür hacme oranı olup aşağıdaki denklemle (3.4) ifade edilir (TS EN 13755, 2001):

$$p_0 = [(m_s - m_d) / (m_s - m_h)] \times 100 \quad (3.4)$$

m_h : Su içerisine batırılmış deney numunesinin kütlesi, (gr)

Kapiler su emme deneyi

Kapiler su emme tayini için, numuneler 28. gün sonunda 100 (±5) °C'lik etüvde değişmez kütleye gelinceye kadar kurutulup, daha sonra desikatörde soğutulmuş, ardından numunelerin su ile temas edecek kare tabanı ölçülmüştür. Bir kaba numunelerin oturtulacağı bagetler yerleştirilip, numunelerin yalnızca alt yüzlerinden suya değecek şekilde su eklenmiştir. Yalnızca alt yüzeyleri su ile temas eden numunelerin, bir kronometre yardımıyla süre tutulup aralıklarla tartımı yapılmıştır. Deney boyunca su seviyesinin sabit tutulmasına dikkat edilmiştir.

Deney numunelerin ağırlık ölçümündeki süreler şu şekildedir; 1, 4, 9, 16, 25, 36, 49, 64, 81, 100, 121 ve 144 dakika olarak belirlenmiştir. Numunelerin belirlenen sürelerde ölçülen ağırlıkları kaydedilerek kapiler su emme (kapilarite) katsayıları aşağıdaki denklemle ifade edilir (3.5) (TS 1925, 2000):

$$N = \sqrt{(mi - md) / A.(t)} \quad (3.5)$$

N : Kapilarite katsayısı, (cm^2/sn)

m_d : Kuru deney numunesinin kütlesi, (gr)

m_i : Deney esnasında deney numunesinin ardışık kütleleri, (gr)

A: Suya batırılmış yüzeyin alanı, (cm^2)

t : Deney başlangıcından ardışık m_i kütlelerinin ölçüldüğü süreler, (dk)

Kapiler su emme deneyi sonuçları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

3.2.1.4 Kompasite (doluluk) ve porozite (boşluk) deneyi

Değişmez kütleye kadar kurutulmuş malzemenin, boşlukları hariç hacminin, boşlukları dahil hacmine oranı malzemenin kompasitesidir (doluluk oranı). Kompasite aşağıdaki denklemle (3.6) ifade edilir:

$$k = (\rho / \rho r) \times 100 \quad (3.6)$$

k : Kompasite, (%)

ρ : Numunenin birim hacim ağırlığı, (gr/cm^3)

ρr : Numunenin özgül ağırlığı, (gr/cm^3)

Porozite (gözeneklilik oranı) aşağıdaki denklemle (3.7) ifade edilir:

$$p = [1-(\rho / \rho r)] \times 100 \quad (3.7)$$

p : Porozite, (%)

ρ : Numunenin birim hacim ağırlığı, (gr/cm^3)

ρr : Numunenin özgül ağırlığı, (gr/cm^3)

3.2.1.5 Ultrases hızı ve elastiklik modülü tayini deneyleri

Ultrases hızı deneyi

Duyulabilen ses titreşimleri 16-16.000 Hz arasında olup frekansı 16.000'in üzerinde olan ses dalgalarına "ultrases" denilmektedir. Bu dalgaların yayılabilmesi için cismin katı, sıvı veya gaz halde olması gerekmektedir. Aksi halde, ultrases dalgaları boşlukta

yayılamamaktadır (Postacıoğlu, 1986). Ultrases hızı deneyi, malzemenin yüzeyine konumlanan bir dönüştürücü (yayıcı) kullanılarak belirli aralıklarla verilen titreşimlerin oluşturduğu boylamsal (VP) ultrasonik dalgalara ($2x10^4 \pm 10^3$ Hz) dayanır. Dalgalar, malzemeden geçtikten sonra başka bir alıcı tarafından toplanır. Daha sonra dalgalardaki değişiklikler ve bu arada geçen süre ölçülür [Vp = d/t, burada d, cm cinsinden kat edilen mesafedir (kumpaslarla ölçülür) ve t, dalganın alıcıya ulaşması için µs cinsinden süredir]. Malzemeden geçen boylamsal dalgaların ultrasonik titreşimlerinin hızının ölçümleri, malzemenin homojenlik değerini, boşlukların ve çatlakların varlığını, malzeme özelliklerindeki değişiklikleri ve bozulma veya çatlamanın derecesini tahmin etmek için ve malzemenin dinamik elastiklik modülü ve dinamik Poisson oranını belirlemek için yapılır. Ses dalgaları, yörüngelerinde bir boşluğun bulunması durumunda, bu boşluğu geçemeyerek çevresinden dolanırlar. Bu durum, malzemenin bir ucundan diğer ucuna ses geçiş süresinin uzamasına, dolayısıyla ses geçiş hızının azalmasına yol açmaktadır. Ses geçiş hızının düşük olması, malzemenin porozitesinin yüksek olduğunun bir göstergesidir (Postacıoğlu, 1986).

Malzemeden geçen boylamsal titreşimlerin ultrasonik darbelerinin hız ölçümleri, yukarıda bahsedildiği gibi malzemenin boşluk oranını, aşınma veya çatlama varsa ciddiyetini tahmin etmek, malzemenin dinamik elastiklik modülü ve dinamik Poisson oranını belirlemek için yapılır. Cismin içinde ultrases hızının tayini için; prizma şeklinde ve belirli bir L uzunluğunda numune alınarak, bunun bir ucuna prob denilen ultrases üreten verici, diğer ucuna da malzeme içinden geçen ses dalgalarını toplayan alıcı yerleştirilmektedir. Ses dalgaları, alıcı prob tarafından toplanır ve sesin iki uç arasında iletim süresi saniyenin milyonda biri olan mikrosaniye cinsinden tespit edilir (TS EN 14579, 2006). Buna bağlı olarak, ses iletim hızı aşağıdaki denklemle ifade edilir:

$$V=L/t \tag{3.8}$$

V : Ultrases hızı, (km/s)

L : Sesin geçtiği numune boyu, (mm)

t : Uzunluk boyunca sinyalin geçtiği zaman, (µs)

Numunelerin ultrases hızının belirlenmesi, TS EN 14579'e (2006) uygun olarak Proceq Marka cihaz yardımı ile yapılmıştır. 40×40×160 mm ölçülerindeki

numunelerin, kare kesitli iki yüzeyinde bulunan boşlukları jel ile doldurulduktan sonra yerleştirilen problara eşit miktarda kuvvet uygulanmıştır. Sırasıyla sinyalin yol aldığı zaman okunarak ultrases hızı hesaplanmıştır. Ultrases hızı deneyi sonuçları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Dinamik Elastiklik Modülü Deneyi:

Elastiklik modülü (rijitlik), malzemenin yük altındaki deformasyona karşı gösterdiği direnç olarak ifade edilebilir.

Ultrases geçiş hızı bulunan numunelerin elastiklik modülü aşağıdaki denklemle ifade edilir:

$$E_d = (10^5 \times V^2 \times d)/g \ (kN/mm^2) \quad (3.9)$$

E: Elastiklik Modülü, (N/mm2)

d: Numunenin birim hacim ağırlığı (gr/cm^3)

V: ultrases hızı = l/t (l: numunenin uzunluğu (mm), t: zaman (μs))

g: yerçekimi ivmesi (9.81 m/sn2)

Elastiklik modülü, çimento harçlarında (1:4) 14–24 kN/mm^2, çimento-kireç harçlarında (1:1.5:8) 5.2–11 kN/mm^2 ve alçı harçlarında 5–10 kN/mm^2 arasında değişmektedir. Elastiklik modülü sonuçları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

3.2.2 Mekanik özeliklerin belirlenmesi için yapılan deneyler

3.2.2.1 Eğilmede çekme dayanımı deneyi

Eğilmede çekme dayanımı, harçların rüzgar yükü, yapısal hareketler ve darbeler gibi etkilere karşı bütünlüğünü sürdürme yeteneğinin iyi bir göstergesidir. Eğilmede çekme dayanımı (R_f), aşağıdaki denklemle (3.10) ifade edilir (TS EN 196-1, 2009):

$$R_f = (1.5 \times F_f \times l)/(b x h^2) \quad (3.10)$$

R_f: Eğilmede çekme dayanımı, (MPa)

F_f : Prizma şekilli numunenin kırıldığı anda ortasına uygulanan yük (N)

l : Mesnet silindirleri arasındaki mesafe, 100 mm,

b: Prizma şekilli numunenin kare kesitinin kenar uzunluğu, mm

h: Prizma şekilli numunenin yüksekliği, mm

3.2.2.2 Basınç dayanımı deneyi

Harcın basınç dayanımı değeri, onun yapısal direnci ile ilgili bilgi verir. Basınç dayanımı (R_c), aşağıdaki denklemle ifade edilir (TS EN 196-1, 2009):

$$R_c = F_c/(40xb) \quad (3.11)$$

R_c : Basınç dayanımı, (MPa)

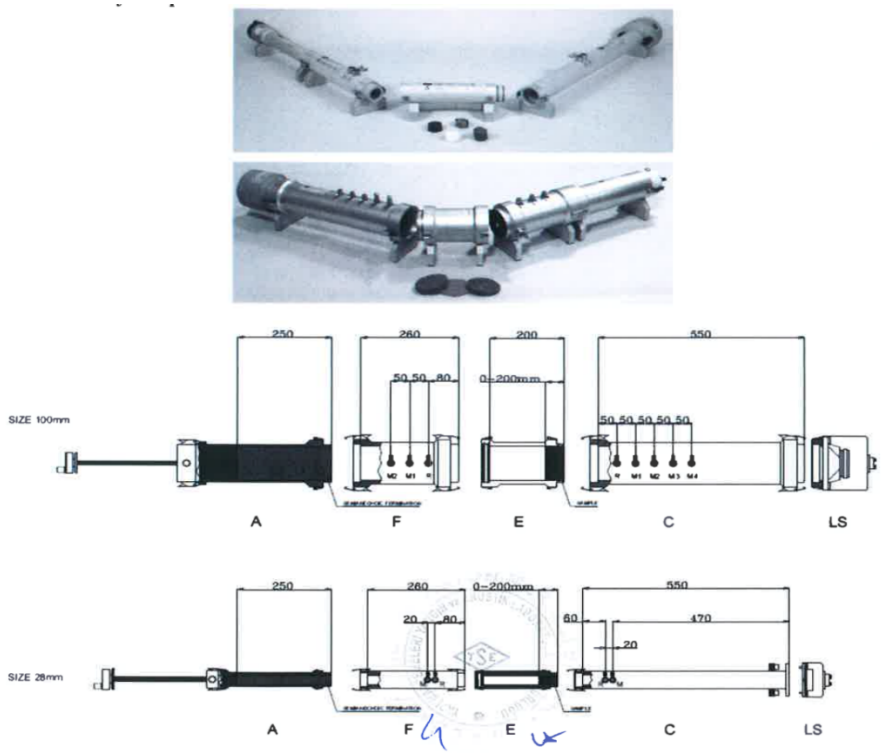
F_c : Kırılma anındaki en büyük yük (N)

Fiziksel deneyleri tamamlanan numunelerin mekanik deneyleri gerçekleştirilmiş ve sonuçları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

3.2.3 Akustik Özeliklerin Belirlenmesi için Yapılan Deneyler

3.2.3.1 Empedans tüpü deneyleri

Şekil 3.17'de gösterilen empedans tüpü, her bir karışım tipine ait üçer numunenin ses iletim kaybını ölçmek için kullanılmıştır. STL, gelen ses gücü dalgaları ile iletilen ses gücü dalgaları arasındaki farktır ve aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanır (3.3). Testler, dört mikrofonlu transfer fonksiyonu yöntemi kullanılarak TS EN ISO 10534-2 (2003) standardına göre yapılmıştır.



Şekil 3.16: Empedans tüpü ölçümlerinin yapıldığı cihaz (TSE, Yangın ve Akustik Laboratuvarı).

Empedans tüpüyle ses iletim kaybı ölçümleri için, ses yutuculuk ölçümlerine benzer bir kurulum kullanılır. Numunenin farklı konumlandırılması nedeniyle, iletilen ses sinyallerinin ses basıncını ve bağlantı ucundan yansıyan ses sinyallerinin ses basıncını ölçmek için ek iki mikrofona ihtiyaç vardır (Jung ve diğ, 2008). Bu değerler, ses enerjisinin ne kadarının malzemeden geçtiğini belirlemek için büyük önem taşır. İlk iki mikrofon ses yutma ölçümüne benzer şekilde kullanılır ve ses kaynağı ile numune arasına yerleştirilir. Numune ve bağlantı ucu arasına ek iki mikrofon yerleştirilir. Normal gelen sesin iletim kaybının hesaplanması için giriş parametreleri, her bir mikrofon çifti arasındaki mesafe, sırasıyla $p1$ ila $p2$ ve $p3$ ila $p4$ ses basınç seviyelerinden belirlenen 1234 transfer fonksiyonları H ve H, yukarı akış (Su) arasındaki orandır ve aşağı akış (Sd) otomatik spektrumları $Ht = \sqrt{|Sd/Su|}$, dalga numarası k ve her mikrofonun konumu $x1$, $x2$, $x3$ ve $x4$ tek boyutlu referans noktası olarak belirlenir (Jung ve diğ, 2008). Ses iletim kaybı değeri için matematiksel ifade şu şekildedir (3.12) (Jung ve diğ, 2008).:

$$TL = 20\log\left|\frac{e^{jks} - H_{12}}{e^{jks} - H_{34}}\right| - 20\log|H_t| \tag{3.12}$$

Düzeneğin çalışma prensibi ise aşağıdaki gibidir;

- Sesin karakteristiğini belirleyen sinyal, test sisteminin kullandığı yazılım vasıtası ile üretilir. Daha sonra yükselticiden geçen sinyal, hoparlör aracılığı ile tüpün içerisinde düzlemsel ilerleyen ses dalgasına dönüşür. Empedans tüplerinde testler için kullanılan gürültü beyaz gürültüdür. (Beyaz gürültü, farklı frekansların üst üste eklenmesiyle oluşturuluyor ve böylece bütün frekanslarda eşit dağılıma sahip bir ses ortaya çıkıyor.)
- Transfer fonksiyonun sadece basınçların bir oranı olduğu hatırlanırsa; iki mikrofon arasındaki transfer fonksiyonu, iki mikrofondan ayrı ayrı ölçülen basınç değerlerinin bir oranıdır.
- Bu oran transfer fonksiyonunu verir, transfer fonksiyonu değeri yansıma çarpanı ile ilişkilendirilerek, elde edilen yansıma çarpanından (R) o frekansa ait ses yutum katsayısı değeri bulunur.
- Eğer hazır bir test kiti kullanılıyorsa bütün bu hesaplar yazılımın içerisinde halledilir.

Empedans tüpü ölçüm metodu ile ses iletim kaybı değerleri ölçümleri için ek aparat kullanılması gerekmektedir. Empedans tüplerinde çok katmanlı numunelerin ses iletim kaybı değerleri ölçümleri doğru değerler vermez. Bu nedenle literatürde bu tarz numunelerin ölçülebilmesi için geliştirilmeye çalışan yöntemler bulunmaktadır.

Empedans tüpü yönteminin ise bazı sınırlamaları bulunmaktadır. Öncelikle bu yöntemde ölçümler sesin normal geliş açısına bağlıdır. Tüp içerisinde oluşan düzlemsel ses dalgası test numunesine sadece dik yönden etkidiği için malzemenin gerçek akustik performansının test edilmesinde yetersiz kalır. Doğal ortamda akustik dalgalar malzemeye pek çok açıdan etkir. Bu nedenle empedans tüpünden elde edilen sonuçlar malzemelerin akustik performanslarını karşılaştırmak ve malzeme seçimi yapmak için kullanılmalıdır. Çalışma ayrıca, empedans tüpünün boyutları ile tanımlanan frekans aralığı ile sınırlıdır. Belirli tasarlanmış alanların akustik özeliklerini doğru bir şekilde öngörmek için geometrik teknikleri kullanan kompleks bilgisayar simülasyonları gereklidir (Kinnane ve diğ, 2016).

Laboratuvar şartlarında ölçüm imkanı sağladığı ve büyük boyutta malzeme ve hacim gerektirmediği için 'Empedans Tüp Yöntemi' yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bir malzemenin ses iletim katsayısını belirlemek için farklı iki temel yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin ilkinde ölçümler saha ölçümleri denilen laboratuvarlarda gerçekleştirilir. Bu yöntem büyük panellerin ses iletim katsayılarının ölçümü için uygundur. İkinci yöntem (tüp metodu) ise küçük numunelerin ses iletim özeliklerini belirlemek için uygundur.

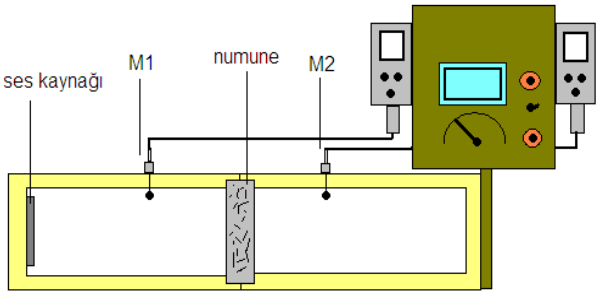
Empedans tüpü kullanılarak pratik olarak akustik bir malzemenin ses iletim katsayısını ölçmek için iki standart teknik vardır. Birincisi; Normal Oranlama Tekniği (Normal Incidence Technique, NIT), ikincisi; Anlık Dalga Metodu (Standing Wave Method). Bu metotta ölçüm tek frekansta, bir kez yapılmaktadır ve anlık frekans değişim değerini vermektedir.

Normal oranlama (NIT) ses yutum ölçüm tekniğinde, çapı dalga boyundan daha küçük bir tüp gereklidir. Ölçüm tüpü bir düzlem boyunca oluşan normal bir ses dalgası için $D<0.59\ \lambda$ şartını sağlamalıdır (3.13). Ölçüm tüpünün çapı dalga boyu ile belli bir orandadır.

$$D < 0.59\,\lambda \tag{3.13}$$

D ; tüp çapı ve λ : sesin dalga boyu olarak tariflenmiştir.

Test tüpü ile 100 Hz ile 4 kHz arasındaki frekansta ölçüm yapılabilmektedir. 98 mm çaplı büyük tüp ile 1.6 kHz'e kadar düşük frekans aralığındaki ölçümler, 28 mm çaplı küçük tüple de 1kHz ile 4 kHz arası frekans ölçümleri yapılabilmektedir. Literatür bilgileri doğrultusunda NIT yöntemine uygun, teflon gövdeli bu test düzeneği Şekil 3.16'da görülmektedir.



Şekil 3.16: Normal oranlama (NIT) tekniğinde kullanılan empedans tüpü örneği.

Bu çalışmada empedans tüpü ile normal oranlama tekniğine uygun ses iletim kaybı ölçümleri yapılmıştır. Ses iletim kaybı ölçümünde numune, dışarı çıkmayacak ve çeperinden hava sızdırmayacak şekilde tüpün içine yerleştirilmiştir. Yanal ses kayıplarını önlemek için numunenin ön kısımlarında contalar kullanılmıştır. Sinyal prosesi ile empedans tüpü arasındaki bağlantı kurulduktan sonra 100 Hz ile 6.3 kHz frekans aralığında 1/3 oktav bantlarında sinyal üretilmiş ve sonuçlar elde edilmiştir. Araştırmanın bu aşamasında her karışım tipi için üç farklı kalınlıkta numuneler üretilmiş, bu numunelerin ses iletim kaybı değerleri karşılaştırılmıştır. Ses iletim kaybı deneyi yapılan numunelerin kalınlıkları sırasıyla 60 mm, 90 mm ve 120 mm kalınlığında olacak şekilde tanımlanmıştır. Karışım içeriği değiştirilmeden üretilen farklı kalınlıktaki numunelerin ses iletim kaybı ölçümleri Türk Standartları Enstitüsü tarafından gerçekleştirilmiştir. Buna göre TS EN ISO 10534-2 (2003) standardından yararlanılarak ölçümler yapılmıştır. Portland çimentosu ve LC^3 bağlayıcılı harç karışımı analizlerinde, empedans tüpü ölçüm sürecinde belirlenen her kalınlık için üç adet 98 mm çapına ve üç adet 28 mm çapına sahip numunelerin ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Numunelere ait 1/3 oktav bant ölçüm sonuçları TSE'den onaylı olarak alınmıştır (Çizelge 4.6).

3.2.3.2 INSUL simülasyon deneyleri

INSUL programı gürültü kontrolü ve yapı elemanlarından ses iletimi hesaplama programıdır. Veri tabanında yaklaşık 20 ile 30 arasında malzeme için geliştirilmiş bir

model olma özeliği göstermektedir. Bunun yanı sıra istenilen yeni malzemelere ait yoğunluk, kritik frekans, yüzey alanı, yüzey kütlesi ve kalınlık değerlerini de modelde girdi alarak STL hesabı yapılabilmektedir. Program EN 12354 Avrupa Standardı'na dayanmaktadır.

R_w ($C;\ C_{tr}$) hesapları için INSUL ses yalıtım hesaplama tahmin programından yararlanılmıştır. INSUL programının güvenilirliği ile ilgili tahmin edilen ve ölçülen ses iletim kaybı değerlerinin karşılaştırılması konusunda çeşitli kaynaklarda bilgi verilmektedir. INSUL web sitesinde bu konuda 12 adet karşılaştırmalı örnek verilmiştir. Buna göre programın STL değerlerini 3-5 dB yaklaşıklık payı ile güvenilir şekilde tahmin ettiği öne sürülmektedir. Cambridge (2006), tezinde bitişik sınıflardaki farklı kalınlıklarda panelleri modelleyerek Insul, Bastian, ENC, Reduct ve Winflag ses yalıtım simülasyon programlarının karşılaştırmalarını yapmıştır. Yapılan çalışmada Insul ve Bastian modellerinin birlikte daha güvenilir sonuçlar verdiğini ortaya koymuş, test verileriyle yapılan karşılaştırmalara göre INSUL'un çoğu konstrüksiyon için STL değerlerini 3 dB yaklaşıklıkta tahmin ettiği sonucuna varmıştır. Aksoylu ve diğ. (2016) çalışmalarında deneysel veriler sonucunda elde edilen R_w değerlerine bağlı olarak ticari ses yalıtım programları kullanarak 11 adet farklı malzeme için modelleri karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Analizler sonucunda, modellerin doğruluklarının ortalaması karşılaştırıldığında sırasıyla INSUL modeli %90, dBKAisla modeli %86, Bastian modeli %84 ve Akuzoft modeli %82 seviyesinde olduğu saptanmıştır.

Çalışmada numunelere ait ses iletim kaybı simülasyonu için INSUL programı kullanılmıştır. Fiziksel deneyler sonucunda elde edilmiş, malzemelere ait yoğunluk, yüzey alanı, yüzey kütlesi, kritik frekans, kayıp faktörü ve kalınlık değerleri modelde girdi alınarak STL hesapları yapılmıştır. Böylece her bir numune için R_w ($C;\ C_{tr}$) değerleri hesaplanmıştır. Numunelere ait yaklaşık gerçek yalıtım değerlerine simülasyon deneyleri sonucunda ulaşılmış ve tek sayılı değere çevrilen empedans tüpü deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

4. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARININ AMAÇLANAN LC^3 ESASLI STL DEĞERİ YÜKSEK MALZEME ÜRETİMİ AÇISINDAN İRDELENMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Bölüm 3'te açıklanan ön kabuller, malzeme bileşenleri ve deneysel süreç izlenerek gerçekleştirilen deneysel çalışmaya ait veriler bu bölümde irdelenmiş ve değerlendirilmiştir. LC^3 çimentosu esaslı ses iletim kaybı yüksek yeni bir malzemenin geliştirilmesinde malzemenin öngörülen akustik özeliklerine etki edebileceği varsayılan parametrelerden olan harcın bağlayıcı türü, agrega türü, agrega dane boyutu, agrega/bağlayıcı oranı değiştirilerek üretilen malzeme üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Buna göre elde edilen fiziksel ve mekanik deney sonuçları Çizelge 4.1'de, akustik deney sonuçları Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.1: Fiziksel ve mekanik deney sonuçları.

Fiziksel ve Mekanik Deneylerin Sonuçları												
Numune No	**Numune Adı**	**Taze Harç Su/Bağlayıcı Oranı (%)**	**Birim Hacim Ağırlık (gr/cm^3)**	**Özgül Ağırlık (gr/cm^3)**	**Kapilarite Katsayısı (cm^2/sn)**	**Ağırlıkça Su Emme (%)**	**Görünür Porozite (%)**	**Porozite (%)**	**Ultrases Hızı (km/sn)**	**Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)**	**Basınç Dayanımı (MPa)**	**Elastiklik Modülü (kN/mm^2)**
1	**PC-S2-2.75**	48	2.13	2.4	0.026	6.7	11.02	11.28	3.64	7.18	43.25	28.279
2	**LC-S2-2.75**	63	1.89	2.36	0.041	10.5	19.88	20	3.16	3.55	30.82	18.945
3	**LC-S8-2.75**	55	2.02	2.39	0.037	7.47	15.12	15.3	3.38	5.84	41.32	23.175
4	**LC-B8-2.75**	65	2.81	3.21	0.031	4.23	11.88	12.54	3.45	5.75	42.33	26.173
5	**LC-R8-2.75**	72	1.03	1.3	0.081	17.56	18.16	20.47	1.07	1.28	2.53	1.177
6	**LC-2B1R8-2.75**	58	2.19	2.83	0.058	9.56	21.3	16.66	1.12	1.35	7.9	2.729
7	**LC-2R1B8-2.75**	60	1.65	2.01	0.062	10.61	17.54	17.73	1.10	1.4	5.1	1.39
8	**LC-2B1R8-2**	55	2.1	2.73	0.08	10.99	23.06	18.12	1.02	1.19	6.43	2.191
9	**LC-2R1B8-2**	56	1.63	2	0.036	9.92	15.74	15.59	1.16	1.52	7.4	2.192
10	**LC-2B1R8-3.5**	70	2.25	2.87	0.031	8.8	19.8	15.6	1.075	1.54	9.12	2.604
11	**LC-2R1B8-3.5**	70	1.58	1.88	0.033	11.66	18.96	18.63	1.08	1.59	4.74	1.86

4.1 LC^3 Çimentosu Esaslı Harçların Fiziksel ve Mekanik Deney Sonuçlarının İrdelenmesi ve Değerlendirilmesi

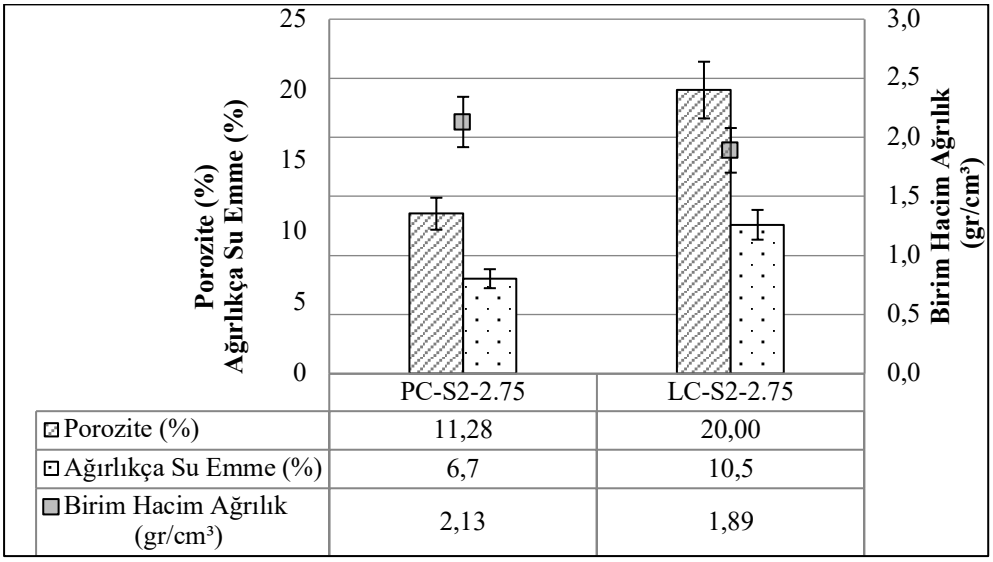
4.1.1 LC^3 ve Portland Çimentosu (PC) harcının fiziksel ve mekanik özelikler üzerindeki etkisi

LC^3 harcının birim hacim ağırlığı ve özgül ağırlığı PC harcından sırasıyla 0.89 ve 0.98 kat daha düşük elde edilmiştir. Literatürde verilen değerlerle uyumlu olarak PC harcının birim hacim ağırlığı 2.13 gr/cm^3 olarak saptanmıştır. LC^3 harcında elde edilen 1.89 gr/cm^3 değeri daha boşluklu bir harç elde edildiğini göstermektedir. Bazı yapı malzemelerinin birim hacim ağırlık, özgül ağırlıkları ile atmosfer basıncı altındaki su emme değerleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2: Bazı yapı malzemelerinin birim hacim ağırlık ve özgül ağırlıkları ile su emme değerleri (Kocataşkın, 2000).

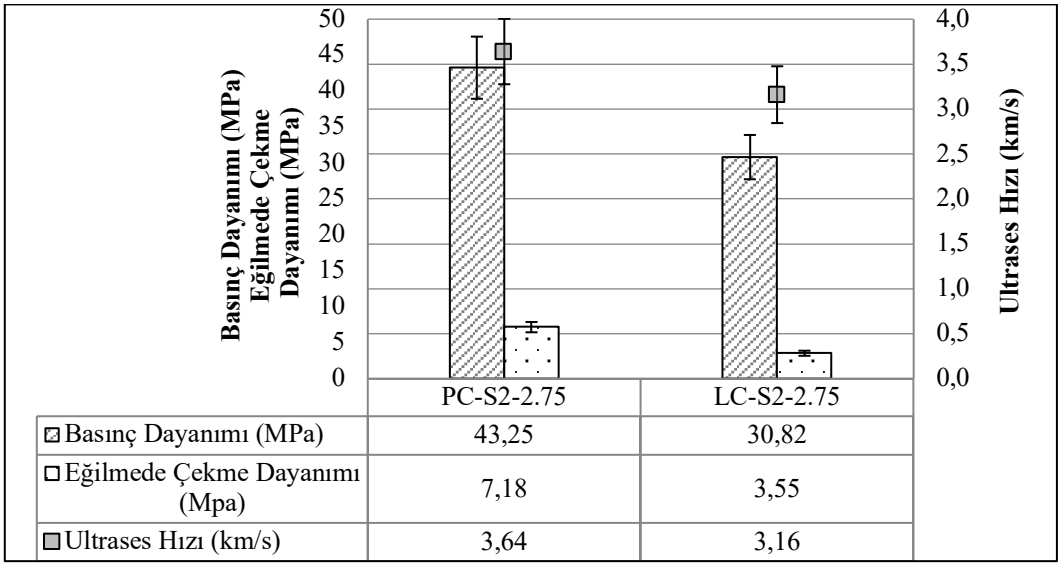
Malzeme	Birim hacim ağırlık (gr/cm^3)	Özgül ağırlık (gr/cm^3)	Atmosfer basıncı altındaki su emme (%)
Tuğla	1.2 – 1.8	2.5 – 2.7	8-18
Sert taşlar	2.5 – 2.7	2.5 – 3.0	0-1
Yumuşak taşlar	2.0 – 2.5	2.5 – 2.7	1-3
Beton	1.8 – 2.4	[*]	1-8
Ahşap	0.4 – 0.8	1.54	Çok fazla
Çelik	7.9	7.9	0

LC^3 harçlarının su emme oranı ve kapilarite katsayısı değerleri PC harçlarına nazaran 1.58 kat daha yüksek elde edilmiştir. Daha büyük değerde elde edilen kapilarite katsayısı (LC-S2-2.75: 0.041>LC-S2-2.75:0.026), harcın daha dar ve birbirine bağlantılı kapiler boşluklardan oluştuğunu göstermektedir. Çimento hamurunda 10^{-6}, betonda 10^{-5} olan kapilarite katsayısı PC'li harçta 26 x 10^{-6} olarak bulunmuştur. LC^3 harcının porozitesinin de ağırlıkça su emme oranı ve yoğunluğa bağlı değerlerde olduğu gibi PC harcına nazaran 1.77 kat daha yüksek olması, LC^3 harcının daha boşluklu bir yapıda olduğunu gösterir (Şekil 4.1). Nitekim LC^3 harcının birim hacim değerindeki düşüş ultrases hızını 0.87 kat, elastiklik modülünü 0.67 kat azaltmıştır. Bu sonuçlar LC^3 harçlarındaki gözeneklilik oranının artışını tespit eden çalışmalarla uyumludur (Antoni ve diğ, 2012 ve Shah ve diğ, 2018). Literatürde PC ve LC^3 harçları incelenmiş, LC^3 harcında PC harcına nazaran toplam porozite artarken gözenek boyutu küçülmüştür (Shah ve diğ, 2018). Artan gözeneklilik akustik yutuculuk açısından önemli parametrelerden biridir ve sonuçlar çalışma kapsamında önem kazanmıştır.



Şekil 4.1: PC ve LC^3 bağlayıcıları ile oluşturulmuş numunelere ait fiziksel deney sonuçları.

PC harcının basınç dayanımı 43.25 MPa bulunmuş olup (Şekil 4.2) bu sonuç (TS EN 197-1, 2012) standardında verilen değere uygun bulunmuştur (Çizelge 4.3). PC harcında su/bağlayıcı oranı ilgili standarda uygun olarak %48'dir ve harcın kıvamı 113'tür (ASTM-C109/C109M-20, 2020). LC^3 harcının kıvamı da buna uygun olarak sabit tutulmuştur. Basınç dayanımının LC^3'nin diğer fiziksel özeliklerine paralel olarak PC harçlarından 0.71 kat daha düşük olduğu tespit edilmiştir. PC'nin 7.18 MPa olan eğilme dayanımı LC^3'de basınç dayanımındaki azalmaya paralel olarak 3.55 MPa olarak bulunmuş ve 0.49 kat düşmüştür. Harçların artan gözeneklilik ile mukavemetinin azalması beklenen bir durumdur. LC^3 harçlarında %45-50'lere kadar olan çimento ikame seviyeleri ile gözeneklilikteki önemli artışa rağmen mukavemette çok fazla azalmanın olmadığı gözlenmektedir (Antoni ve diğ, 2012). De Weerdt ve diğerlerinin (2011) çalışmasında PC harcında 28 günlük basınç dayanımı 45.6 MPa iken, PC'nin uçucu kül puzolanı ve kireç taşı tozu ile ikame edildiği durumdaki harçta 39.8 MPa bulunmuştur. Bir diğer çalışmada PC'li harçta su/bağlayıcı oranı 0.42, LC^3 bağlayıcılı harçta su/bağlayıcı oranı 0.45 olacak şekilde harçlar hazırlanmıştır. Bağlayıcı/agrega oranı 1/3'tür. Buna göre PC bağlayıcılı harçta 28 günlük basınç dayanımı 61 MPa olarak bulunmuşken, LC^3 bağlayıcılı harçta 42 MPa olarak bulunmuştur (Dhandapani ve diğ, 2017). Bu çalışmada LC^3 bağlayıcılı harçta kıvam değeri sabit tutulduğundan harca katılan su miktarı artmıştır. Mekanik dayanım deney sonuçları literatüre ve artan su miktarına paralel olarak LC^3 bağlayıcılı harçta düşüş göstermiştir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2: PC ve LC^3 bağlayıcıları ile oluşturulmuş numunelere ait mekanik deney sonuçları.

Çizelge 4.3: Karakteristik değerlerle verilen mekanik ve fiziksel özelikler (TS EN 197-1, 2012).

Dayanım Sınıfı	Basınç Dayanımı			
	Erken Dayanım		Standart Dayanım	
	2 günlük	7 günlük	28 günlük	
42,5 R	≥ 20,0	-	≥ 42,5	≤ 62,5

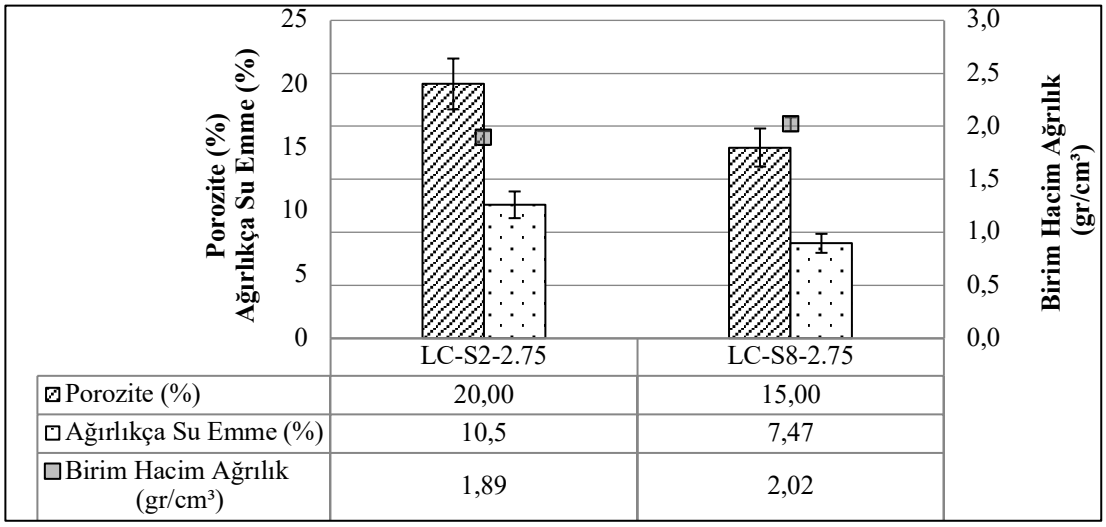
4.1.2 Agrega dane boyutunun ve cinsinin LC^3 harcının fiziksel ve mekanik özelikleri üzerindeki etkisi

Dere kumu agregasının maksimum dane boyutunun 2 mm'den 8 mm ile değiştirilmesinin, harçların fiziksel ve mekanik özeliklerinin gelişimi üzerindeki etkisini değerlendirmek üzere LC^3 harcının kum/bağlayıcı oranı sabit tutulup (2.75) LC^3 harcına agrega dane boyutu maksimum 8 mm olan dere kumu katılarak numuneler oluşturulmuştur. Bir sonraki aşamada agrega cinsinin harçların özelikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Barit agregasının, kauçuk agregasının, barit ve kauçuk agregalarının birlikte kullanımının LC^3 harçlarının özeliklerinin gelişimi üzerindeki etkisini değerlendirmek için incelenmiştir. Bu aşamalarda bağlayıcı LC^3 olarak sabit tutulmuştur.

4.1.2.1 Agrega dane boyutunun LC^3 harcının fiziksel ve mekanik özelikleri üzerindeki etkisi

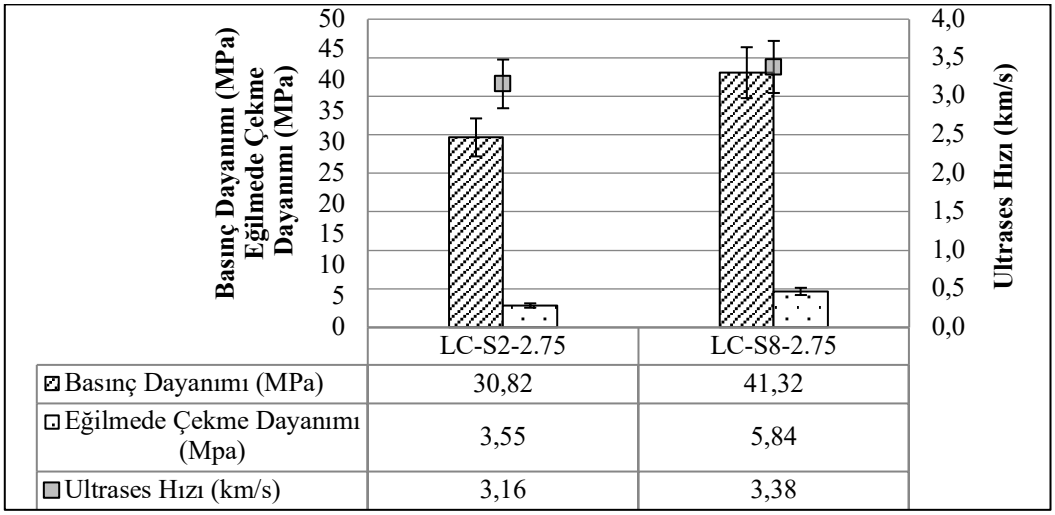
En büyük dane çapı 8 mm olan harcın birim hacim ağırlığı en büyük dane çapı 2 mm agregalı olan harca nazaran 1.06 kat artmış, porozite ve ağırlıkça su emme katsayısı

sırasıyla 0.77 ve 0.71 kat azalmıştır. Paralel olarak 8 mm agregalı harcın kapiler su emme katsayısı ve görünür porozitesi 2 mm agregalı harca nazaran sırasıyla 0.9 ve 0.76 kat daha az elde edilmiştir. Agrega dane boyutunun büyümesi ile malzeme hacminin hem toplam boşluk oranı azalmış hem de harcın kılcal boşluklarının miktarı azalmıştır. Görünür porozitedeki azalma malzemenin dışa açık boşluklarının da agrega dane boyutunun büyümesine paralel olarak azaldığını göstermektedir (Şekil 4.3). Öte yandan, agrega dane boyutu ne kadar büyükse kompasite o kadar büyük değer almaktadır (Postacıoğlu, 1986, s. 203). Bu durum fiziksel deney sonuçlarıyla paralel olarak daha büyük daneli harçlarda toplam gözeneklilik oranında genel olarak azalma olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.3: 2 mm ve 8 mm dere kumu ile oluşturulmuş numunelere ait fiziksel deney sonuçları.

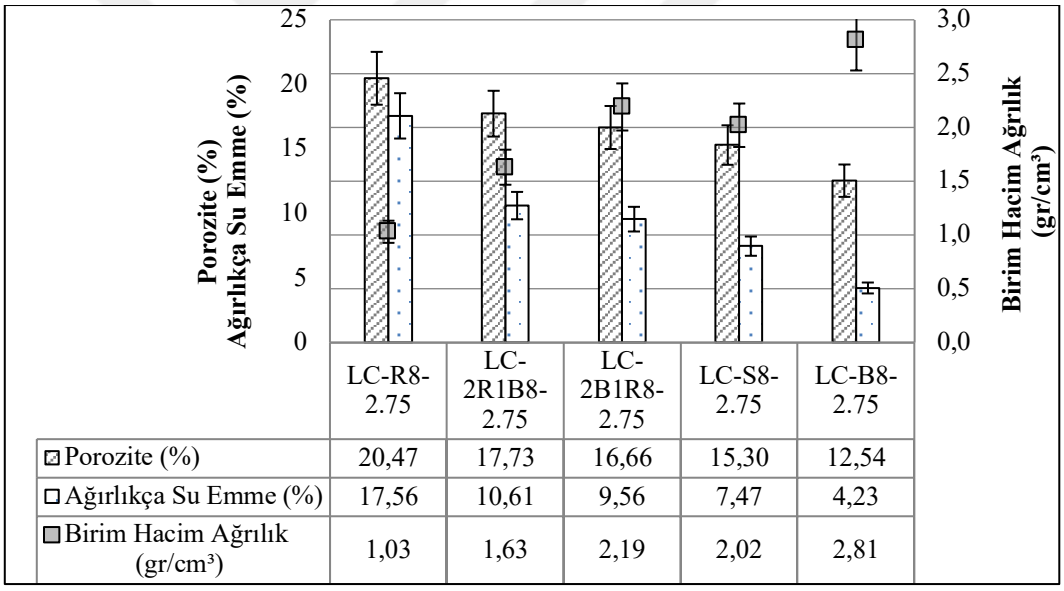
8 mm dere kumlu harcın basınç dayanımı 2 mm dere kumlu harçtan 1.34 kat, eğilme dayanımı 1.65 kat daha fazladır. 8 mm agregalı harçlarda fiziksel deneyler sonucunda tespit edilen toplam gözeneklilik oranındaki azalma mekanik özeliklerdeki artışı beraberinde getirmiştir (Şekil 4.4).



	LC-S2-2.75	LC-S8-2.75
Basınç Dayanımı (MPa)	30,82	41,32
Eğilmede Çekme Dayanımı (Mpa)	3,55	5,84
Ultrases Hızı (km/s)	3,16	3,38

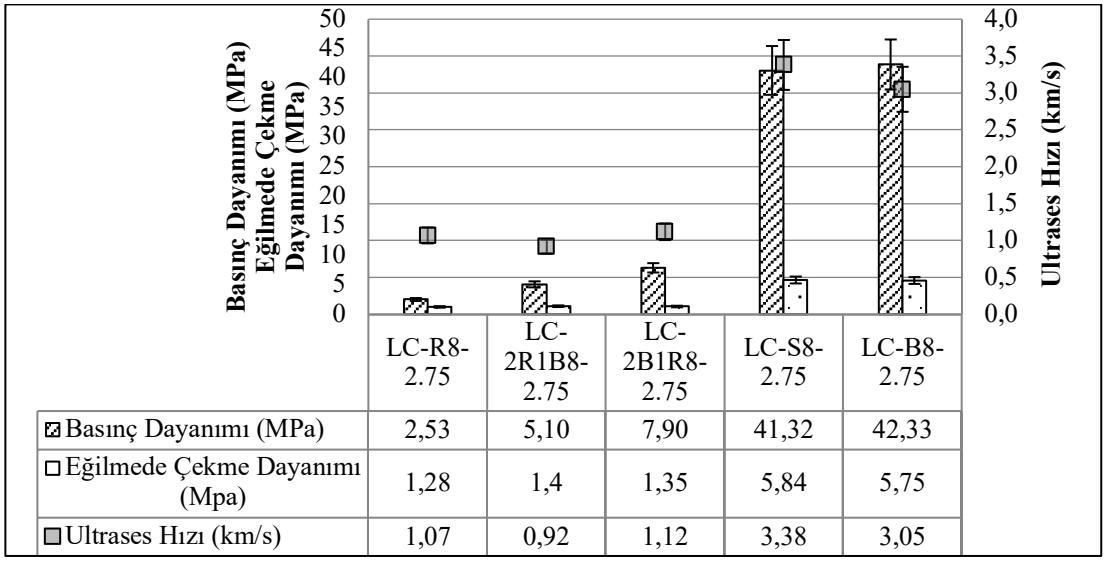
Şekil 4.4: 2 mm ve 8 mm dere kumu ile oluşturulmuş numunelere ait mekanik deney sonuçları.

4.1.2.2 Agrega cinsinin LC³ harcının fiziksel ve mekanik özelikleri üzerindeki etkisi



	LC-R8-2.75	LC-2R1B8-2.75	LC-2B1R8-2.75	LC-S8-2.75	LC-B8-2.75
Porozite (%)	20,47	17,73	16,66	15,30	12,54
Ağırlıkça Su Emme (%)	17,56	10,61	9,56	7,47	4,23
Birim Hacim Ağrılık (gr/cm³)	1,03	1,63	2,19	2,02	2,81

Şekil 4.5: 8 mm agregalar ile oluşturulmuş numunelere ait fiziksel deney sonuçları.



	LC-R8-2.75	LC-2R1B8-2.75	LC-2B1R8-2.75	LC-S8-2.75	LC-B8-2.75
Basınç Dayanımı (MPa)	2,53	5,10	7,90	41,32	42,33
Eğilmede Çekme Dayanımı (Mpa)	1,28	1,4	1,35	5,84	5,75
Ultrases Hızı (km/s)	1,07	0,92	1,12	3,38	3,05

Şekil 4.6: 8 mm agregalar ile oluşturulmuş numunelere ait mekanik deney sonuçları.

Barit agregasının etkisi

En büyük dane çapı 8 mm olan dere kumunun yine en büyük dane çapı 8 mm olan barit agregası ile değiştirilmesiyle daha yoğun ve ağır malzemenin "kütle kanunu" etkisiyle ses iletimini azaltacağı varsayılmıştır. Dere kumu ve barit agregalarıyla hazırlanmış harçlardan beklenildiği gibi barit agregalı harcın birim hacim ağırlığı daha yüksek elde edilmiştir. Baritli harcın birim hacim ağırlığı ve özgül ağırlığı dere kumlu harçtan sırasıyla 1.39 ve 1.34 kat daha fazladır (Şekil 4.5). Bu durum agregaların özgül ağırlıklarıyla açıklanabilir (Dere kumu: 2.56 gr/cm^3, Barit: 4.21 gr/cm^3). Baritli harcın dere kumlu harca nazaran porozite ve su emme değerleri sırasıyla 0.82 ve 0.57 kat azalmıştır. Porozitenin baritli harçta azalması, harçların ağırlıkça su emme oranını da azaltmıştır. Baritli harçta dere kumlu harca nazaran kapiler su emme katsayısı ve görünür porozite sırasıyla 0.84 kat ve 0.79 kat azalmıştır.

Azalan poroziteye bağlı olarak (Şekil 4.5) ultrases hızı sonuçları kıyaslandığında, baritli harçlarda dere kumlu harçlara nazaran 1.02 kat artış olmuştur (Şekil 4.6). Elastiklik modülü değeri de birim hacim ağırlığa bağlı olarak baritli harçta 1.13 kat artmıştır. Bu sonuçlar barit agregasının düşük su emme özeliği ile açıklanabilir (Ünal ve diğ, 2014) (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4: Barit agregasının tane boyutuna bağlı fiziksel özelikleri (Ünal ve diğ, 2014).

Agrega dane boyutu	Özgül ağırlık (kg/m^3)	Birim ağırlık (kg/m3)	Su emme (%)
Taşunu	3800	2300	6
0-5 mm	4000	2100	2.1
5-22 mm	4000	2100	0.6

En yüksek basınç dayanımı ağır agrega olan barit agregalı harçta elde edilmiştir. Barit agregalı harcın basınç dayanımı dere kumlu harç ile yakın sonuçlar vermiştir (Baritli harç 1.02 kat daha fazladır). Bu sonuçlar Çizelge 4.5'teki numunelere ait sonuçlarla yakındır (Akgün ve diğ, 2007). Barit agregalı harcın eğilme dayanımı ise dere kumlu harç ile yakın sonuçlar vermiş ancak bu defa 0.98 kat daha azdır (Şekil 4.6).

Çizelge 4.5: Kayaç, çimento hamuru ve harç numunelerinin (40mm x 40 mm x 160mm) eğilme ve basınç dayanımları (Akgün ve diğ, 2007).

Numuneler	Ortalama Eğilme Dayanımı (MPa)	Ortalama Basınç Dayanımları (MPa)
Ağır Agrega Kayacı	7.58	47.29
Geleneksel Agrega Kayacı	13	98
Çimento Hamuru	4.9	35.8
Ağır Agregalı Harç	6.1	36.55
Geleneksel Agregalı Harç	5	35

Kauçuk agregasının etkisi

Malzemenin rijitlik kontrolünü sağlayacağı öngörüsüyle, harçta yer alan dere kumu hacim oranıyla aynı olmak üzere LC^3 harcına maksimum dane boyutu 8 mm olan atık kauçuk agregası eklenmiştir. Dere kumu ve kauçuk agregalarıyla hazırlanmış harçlardan en düşük birim hacim ağırlık kauçuk agregalı harçta elde edilmiştir. Kauçuklu harcın birim hacim ağırlığı dere kumlu harca nazaran 0.51 kat, özgül ağırlığı 0.54 kat azalmıştır (Şekil 4.5). Bu durum agregaların özgül ağırlıklarıyla açıklanabilir (Dere kumu: 2.56 gr/cm^3, Kauçuk: 1.16 gr/cm^3). Kauçuklu harcın dere kumlu harca nazaran porozite ve su emme değerleri sırasıyla 1.34 ve 2.35 kat artmıştır. Kauçuklu harçta ağırlıkça su emme, görünür porozite ve porozite sonuçları en yüksek değeri almıştır. Kauçuklu harçta dere kumlu harca nazaran kapiler su emme katsayısı ve görünür porozite sırasıyla 2.19 kat ve 1.2 kat artmıştır.

Artan poroziteye bağlı olarak ultrases hızı sonuçları kıyaslandığında, kauçuklu harçlarda dere kumlu harçlara göre 0.32 kat azalma olmuştur. Elastiklik modülü ise, birim hacim ağırlığa bağlı olarak kauçuklu harçta 0.05 kat azalmıştır. Kauçuk agregası %0.8-1.3 oranında düşük su emme yüzdesine sahiptir (Li ve diğ, 2020) ancak harçtaki

yüksek su/bağlayıcı oranı boşluk miktarını artırmıştır. Kauçuk agregaları başlangıçta büyük miktarda su tutar (Herrero ve diğ, 2013). Bununla birlikte kauçuk diğer malzemelerden farklı olarak hareketsiz ve geçirimsiz bir malzemedir (Pczieczek ve diğ, 2017). Bu nedenle su/bağlayıcı oranı kauçuk agregası ile hazırlanan harçlarda fazladır.

Kauçuk agregalı harcın basınç dayanımı ve eğilme dayanımı dere kumlu harçtan sırasıyla 0.06 kat ve 0.21 kat daha azdır. Beklenildiği gibi en düşük basınç dayanımı kauçuk agregalı harçta elde edilmiştir. Çimentolu harçlara eklenen kauçuk agregasının literatür araştırmasıyla paralel olarak basınç dayanımı ve eğilmede çekme dayanımını düşürdüğü görülmüştür (Guo ve diğ, 2017; Herrero ve diğ, 2013; Li ve diğ, 2020). Bu azalmaya, kauçuk parçacıkları ile çimento bağlayıcı arasındaki rijitlik farkı neden olmaktadır. Bu durum belirli bir yük altında çatlakların kolaylıkla oluşabilmesi anlamına gelir. Buna göre çalışma kapsamında kauçuk eklentisinin yapıldığı harçlardaki mukavemetin düşüş nedeni bu şekilde açıklanabilir (Şekil 4.6).

Kauçuk agregası, çimentolu harçlarda mekanik özelikleri olumsuz etkilediğinden kauçuk agregasının kimyasal yöntemlerle ön işlemden geçirildiği çalışmalar mevcuttur (Guo ve diğ, 2017; Li ve diğ, 2020; Segre ve Joekes, 2000). NaOH çözeltisi ile işlem yapmak, kauçuk partiküllerinin etrafında zayıf bir alkali ortamı sağladığından ve hidrolik iletkenlik, kauçuk/çimento su aktarım hızı ve hidratasyon için faydalı olduğundan kauçuk/çimento etkileşimini iyileştirir. He ve diğ. (2016), kauçuk agregasının $KMnO_4$ ve $NaHSO_3$ çözeltileri ile yüzey modifikasyonunun kauçuğun beton mukavemeti üzerindeki olumsuz etkisini geciktirebileceğini kanıtlamışlardır. Sonuçlar, %4 işlem yapılmış kauçuk ile hazırlanmış betonun basınç dayanımının, işlenmemiş kauçuk ile hazırlanmış betondan %48.7 daha yüksek olduğunu göstermiştir. Deneylerde kauçuk agregasına herhangi bir kimyasal işlem uygulanmamıştır ancak uygulandığı takdirde mekanik özeliklerde artış sağlanacağı bilinmektedir.

Barit ve kauçuk agregalarının birlikte kullanımının etkisi

LC^3 harcına maksimum agrega dane boyutu (8 mm) aynı olmak üzere barit ve kauçuk agregaları eklenmiştir. Harca katılan barit ve kauçuk agrega hacim oranları sırasıyla önce 1-2 (2R1B8) sonra 2-1 (2B1R8) olarak belirlenmiştir. Burada amaç her iki agreganın birlikte akustik özeliklere katkısını gözlemleyebilmektir. Sadece barit

agregası ile üretilen harcın (B8) birim hacim ağırlığı, 2B1R8 ve 2R1B8 harçlarına göre sırasıyla 1.28 ve 1.72 kat daha fazladır. Barit agregalı harcın su emme oranı 2B1R8 ve 2R1B8 harçlarına göre sırasıyla 0.44 ve 0.39 kat daha azdır. Kauçuğun hafifliği (baritten 3.62 kat daha düşük) ve harçta gözenekli yapı oluşturması nedeniyle, barit esaslı harca kademeli olarak kauçuk eklenmesiyle daha yüksek gözeneklilik ve daha düşük birim ağırlıklar elde edilmiştir (Şekil 4.5). Öte yandan, kauçuğun hidrofobik karakterine rağmen, barit ve kauçuk esaslı harçlar, kauçuk içeriğinin kademeli olarak artmasına paralel olarak, barit esaslı harca göre daha yüksek su emme oranları göstermektedir. Çalışmamızda kullanılan iri kauçuk agrega boyutu, gözenekliliği de etkileyebilecek kauçuğun çimento hamuruna sınırlı yapışması ve su-katı ara yüzeyinde (%50'den fazla yüzey alanı) hidrofilik gözenekli alanların (çimento) varlığı, su emme oranlarındaki artışın olası nedenleri olabilir (Mundo ve diğ, 2018).

Barit agregası ile üretilen harcın basınç dayanımı 42.33 MPa olarak bulunmuştur ve bu sonuç 2B1R-8 ve 2R1B-8 harçlarına göre sırasıyla 5.36 ve 8.3 kat daha fazladır. Kauçuk agrega ilavesi, baritli harca göre eğilme ve basınç dayanımı değerlerini düşürmüştür. En yüksek eğilme dayanımı yine barit agregalı harçta elde edilmiştir. Ancak salt baritli harca nazaran artan kauçuk agrega oranı, 2B1R-8 ve 2R1B-8 harçları arasında yakın eğilme dayanımı sonuçları vermiştir. Barit agregalı harçların ultrases hızı, diğer fiziksel özeliklere paralel olarak 2B1R8 ve 2R1B8 harçlarından sırasıyla 3.08 ve 3.14 kat daha yüksektir (Şekil 4.6).

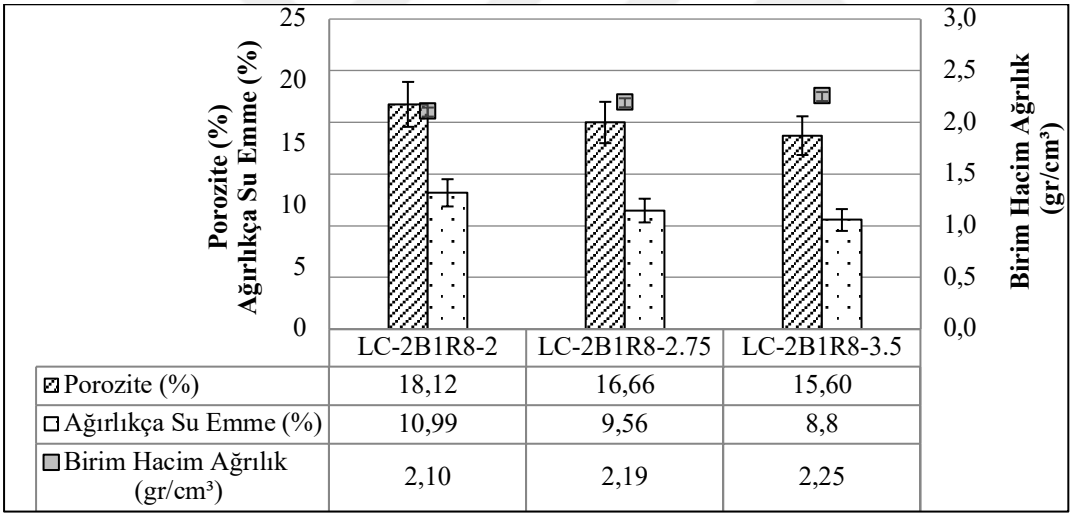
Atık kauçuk agregasının bir kısmını ağır barit agregası ile değiştirerek bu iki agregalı harcın özelikleri üzerindeki etkisini anlamak amacıyla barit ve kauçuk agregalı harçlar, sadece kauçuk agregalı harçlar ile karşılaştırılmıştır. Kauçuk agregası ile üretilen harcın birim hacim ağırlığı 2R1B8 ve 2B1R8 harçlarına göre sırasıyla 0.63 ve 0.47 kat daha azdır. Kauçuk agregalı harcın su emme oranı 2R1B8 ve 2B1R8 harçlarına göre sırasıyla 1.66 ve 1.84 kat daha fazladır. Harçlardaki kauçuk miktarının azaltılması, birim hacim ağırlığı artırırken gözenekliliği ve su emme oranını azaltmıştır (Şekil 4.5). Kapilarite katsayısı, kauçuk içeriğinin azalan hacim oranlarıyla kademeli olarak azalmıştır, bu da sadece kauçuklu harcın daha ince gözenek yapısına sahip olduğunu göstermektedir (LC-R8: 0.081>LC-2R1B8:0.062>LC-2B1R8:0.058).

Kauçuk agregası ile üretilen harcın basınç dayanımı 2.53 MPa olarak bulunmuş ve bu sonuç 2R1B8 ve 2B1R8 harçlarına göre sırasıyla 0.5 ve 0.32 kat daha azdır. Kauçuk agregası oranının düşürülmesi, basınç dayanımlarını artırmıştır. Ancak tok yapısından

dolayı en yüksek eğilme dayanımı 2R1B8 harcı ile elde edilmiştir (LC-2R1B8: 1.4 > LC-2B1R8: 1.35 > LC-R8: 1.28). Sadece kauçuk agregalı harcın ultrases hızı, fiziksel özeliklerine paralel olarak 2R1B8 ve 2B1R8 harçlarına göre sırasıyla 0.97 ve 0.96 kat daha düşük bulunmuştur (Şekil 4.6).

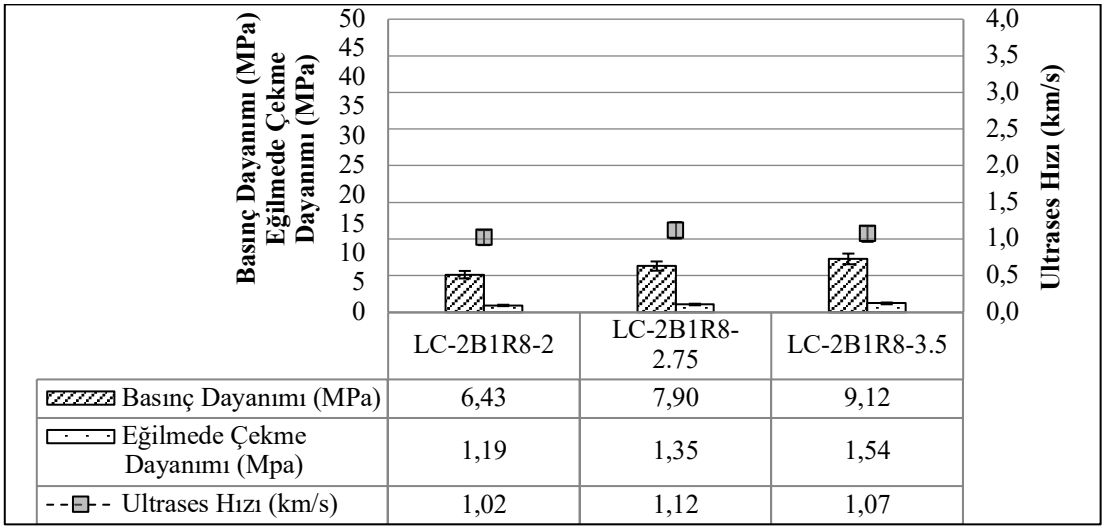
4.1.3 Agrega/bağlayıcı oranının barit ve kauçuk agregalı (2B1R ve 2R1B) LC^3 harcının fiziksel ve mekanik özelikleri üzerindeki etkisi

2B1R8 harcında agrega/bağlayıcı oranının 2.75'ten 2 ve 3.5 olarak değişmesi birim hacim ağırlık sonuçlarını sırasıyla 0.96 kat azaltıp ve 1.03 kat artırmıştır. LC-2B1R8 harçlarının birim hacim ağırlık ve özgül ağırlık sonuçları birbirlerine çok yakındır. Birim hacim ağırlık verileriyle paralel olarak, agrega/bağlayıcı oranı 3.5 olan harçta, 2 ve 2.75 olan harçlara nazaran daha dolu bir yapı elde edilmiştir. 2.75'in 2 ve 3.5 olarak değişmesi porozite değerlerini sırasıyla 1.08 kat artırıp, 0.94 kat azaltmıştır. Ağırlıkça su emme sonuçları da porozite sonuçları ile paraleldir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7: Barit ve kauçuk agregalı numunelerin (2B1R8) fiziksel deney sonuçlarının karşılaştırılması.

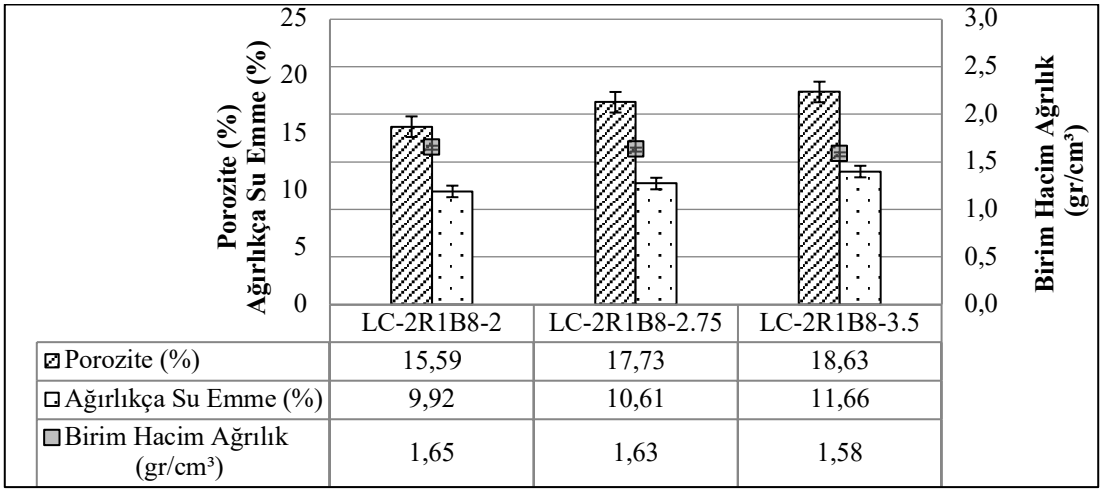
Ultrases hızı sonuçları en yüksek 2.75 harcında, sonrasında 3.5 harcında ve en az 2 harcında elde edilmiş ve birbirlerine oldukça yakın sonuçlanmıştır. Fiziksel özeliklere bakıldığında en yüksek boşluk oranına sahip 2B1R8-2 harcının basınç dayanımı değeri de en düşük değeri almıştır. 2.75 harcının 2 ve 3.5 harçları ile değişimi basınç dayanımı değerlerini sırasıyla 0.81 kat azaltıp 1.15 kat artırmıştır. Barit oranının en fazla ve boşluk oranının en az olduğu 3.5 harcı en yüksek basınç dayanımı değerini almıştır. Eğilmede çekme dayanımı sonuçları birbirlerine yakın olan harçlarda daha fazla barit ve kauçuk agregasına sahip 3.5 harcında en yüksek sonuç elde edilmiştir (Şekil 4.8).



	LC-2B1R8-2	LC-2B1R8-2.75	LC-2B1R8-3.5
Basınç Dayanımı (MPa)	6,43	7,90	9,12
Eğilmede Çekme Dayanımı (Mpa)	1,19	1,35	1,54
Ultrases Hızı (km/s)	1,02	1,12	1,07

Şekil 4.8: Barit ve kauçuk agregalı numunelerin (2B1R8) mekanik deney sonuçlarının karşılaştırılması.

2R1B8 harcında agrega/bağlayıcı oranının 2.75'ten 2 ve 3.5 olarak değişmesi birim hacim ağırlık sonuçlarını sırasıyla 1.01 kat artırıp ve 0.97 kat azaltmıştır. LC-2R1B8 harçlarının birim hacim ağırlık ve özgül ağırlık sonuçları birbirlerine çok yakındır. Birim hacim ağırlık verileriyle paralel olarak, agrega/bağlayıcı oranı 2 olan harçta, 2.75 ve 3.5 olan harçlara nazaran daha dolu bir yapı elde edilmiştir. 2.75'in 2 ve 3.5 olarak değişmesi porozite değerlerini sırasıyla 0.88 kat azaltıp, 1.05 kat artırmıştır. Ağırlıkça su emme sonuçları da porozite sonuçları ile paraleldir (Şekil 4.9).

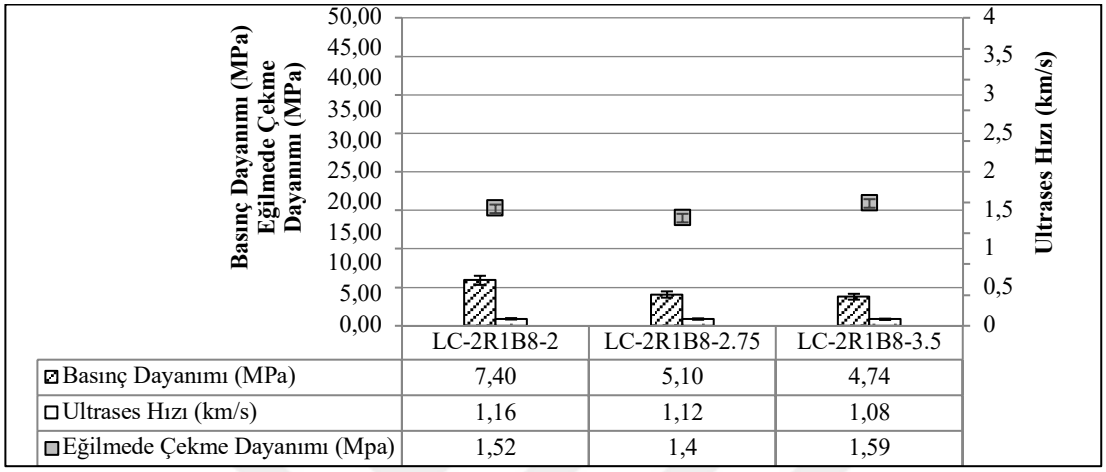


	LC-2R1B8-2	LC-2R1B8-2.75	LC-2R1B8-3.5
Porozite (%)	15,59	17,73	18,63
Ağırlıkça Su Emme (%)	9,92	10,61	11,66
Birim Hacim Ağırlık (gr/cm³)	1,65	1,63	1,58

Şekil 4.9: Barit ve kauçuk agregalı numunelerin (2R1B8) fiziksel deney sonuçlarının karşılaştırılması.

Ultrases hızı sonuçları birbirleriyle uyumlu olarak en yüksek 2 harcında, sonrasında 2.75 harcında ve en az 3.5 harcında elde edilmiş ve birbirlerine yakın sonuçlanmıştır. Fiziksel özeliklere bakıldığında en yüksek boşluk oranına sahip olan 3.5 harcının basınç dayanımı değeri de en düşük değeri almış, 2.75 harcından 0.88 kat daha düşük

bulunmuştur. Kauçuk oranının ve aynı zamanda boşluk oranının en az olduğu 2 harcı en yüksek basınç dayanımı değerini almış, 2.75 harcından 1.45 kat daha fazla bulunmuştur. Eğilmede çekme dayanımı sonuçları birbirlerine yakın olan harçlarda daha fazla kauçuk agregasına sahip 3.5 harcında en yüksek sonuç elde edilmiştir (Şekil 4.10).



	LC-2R1B8-2	LC-2R1B8-2.75	LC-2R1B8-3.5
Basınç Dayanımı (MPa)	7,40	5,10	4,74
Ultrases Hızı (km/s)	1,16	1,12	1,08
Eğilmede Çekme Dayanımı (Mpa)	1,52	1,4	1,59

Şekil 4.10: Barit ve kauçuk agregalı numunelerin (2R1B8) mekanik deney sonuçlarının karşılaştırılması.

4.2 LC^3 Çimentosu Esaslı Harçların Akustik Deney Sonuçlarının İrdelenmesi ve Değerlendirilmesi

Bu bölümde harçların empedans tüpüyle ölçülmüş ses iletim kaybı değerleri verilmiş (Çizelge 4.6) ve başlıklar halinde aralarında karşılaştırmalar yapılmıştır. Ayrıca harçların basınç dayanımı değerleri ile ağırlıklı ses azaltım indeksleri (R_w) arasındaki ilişkiler irdelenmiştir. Basınç dayanımının, malzeme özeliklerinin belirlenmesinde önemli bir faktör olması nedeniyle karşılaştırmada bu parametre seçilmiştir. Harcın, durabilitesinin yüksek olması için harç yeterli mekanik dayanıma sahip olmalı ve makul bir sürede bu dayanımı kazanmalıdır (Akgül ve Tanaçan, 2010).

Çizelge 4.6: Empedans tüpü ses iletim kaybı deneyi sonuçları.

	Frekans																		
Numune Kodu	**100**	**125**	**160**	**200**	**250**	**315**	**400**	**500**	**630**	**800**	**1000**	**1250**	**1600**	**2000**	**2500**	**3150**	**4000**	**5000**	**6300**
PC-S2-2.75 (60 mm)	12.08	11.8	14.75	15.76	17.04	18.65	18.89	20.09	21.33	22.04	27.37	33.2	43.01	43.36	44.62	47.82	51.35	56.1	58.77
PC-S2-2.75 (90 mm)	19.2	21.99	21.43	21.36	22.63	22.89	24.27	24.71	25.55	25.3	28.18	31.94	42	45.55	46.44	48.84	53.28	56.58	58.19
PC-S2-2.75 (120 mm)	21.53	23.13	23.1	24.43	25.2	26.18	26.17	25.24	25.61	24.38	23.86	25.88	24.92	24.73	26.87	29.59	30.47	32.55	34.65
LC-S2-2.75 (60 mm)	10.62	10.68	13.82	15.15	17.19	18.25	19.49	19.85	21.16	22.15	24.96	26.4	30.69	31.05	32.47	33.57	35.05	37.23	40.72
LC-S2-2.75 (90 mm)	20.96	21.1	22.52	23.69	24.38	21.18	26.05	25.27	25.79	25.19	23.58	23.51	24	25.06	24.04	28.1	27.52	33.28	35.42
LC-S2-2.75 (120 mm)	27.96	27.26	26.72	26.88	27.07	27.16	27.55	27.24	26.31	25.91	23.82	23.03	20.18	18.32	20.96	21.65	24.55	27.48	30.25
LC-S8-2.75 (60 mm)	16.12	17.52	18.75	19.78	20.71	21.82	23.09	23.17	24.52	24.99	22.44	18.8	23.85	21.15	21.84	25.18	21.47	24.6	24.26
LC-S8-2.75 (90 mm)	17.99	19.34	20.7	21.81	22.94	24.05	25.06	25.22	25.38	24.71	23.71	24.41	26.9	26.03	25.02	30.1	28.64	29.56	35.72
LC-S8-2.75 (120 mm)	18.47	19.56	20.96	22.11	23.24	24.38	25.62	26.37	27.01	27.83	26.7	28.31	28.26	29.05	31.86	33.25	33.39	34.87	38.97
LC-B8-2.75 (60 mm)	14.94	16.43	18.5	18.81	20	22.01	23.13	23.37	24.5	25.4	28.97	31.89	36.81	37.63	38.9	40.17	41.54	44.67	48.63
LC-B8-2.75 (90 mm)	13.27	13.35	15.94	17.25	18.17	24.12	25.08	27.15	27.48	26.96	25.14	26.56	27.16	27.95	28.09	30.13	31.02	33.94	36.56
LC-B8-2.75 (120 mm)	16.97	17.41	19.32	20.57	21.88	22.84	23.64	23.72	23.66	21.5	17.59	19.36	21.17	20.14	21.6	23.83	24.64	25.64	27.12
LC-R8-2.75 (60 mm)	20.7	21.54	22.92	23.75	24.73	25.79	27.05	27.18	28.41	27.16	27.35	29.65	31.77	28.46	27.31	29.75	30.09	31.83	32.57
LC-R8-2.75 (90 mm)	19.56	20.69	21.96	23.1	24.16	24.93	26.25	26.01	25.54	25.29	26.64	28.74	28.54	27.98	28.02	29.48	29.01	30.71	31.57
LC-R8-2.75 (120 mm)	22.19	22.55	24.07	24.77	25.6	26.27	26.98	26.28	26.83	27.73	27.95	28.64	26.94	28.86	30.8	33.62	36.24	41.35	43.29
LC-2R1B8-2.75 (60 mm)	20.24	21.56	21.9	23.12	24.15	25.46	26.98	26.12	28	28.06	28.7	27.7	25.98	26.74	27.38	28.65	28.42	29.16	31.72
LC-2R1B8-2.75 (90 mm)	21.24	21.5	22.62	23.82	24.78	25.35	26.56	25.93	26.67	26.33	26.03	26.93	29.59	29.83	30.92	31.16	31.75	32.66	33.14
LC-2R1B8-2.75 (120 mm)	20.45	20.96	22.81	24.18	25.17	26.26	26.07	26.01	26.05	25.49	27.03	30.09	31.66	33.71	35.81	37.96	40.03	44.08	44.14
LC-2B1R8-2.75 (60 mm)	23.46	23.96	24.81	25.47	26.29	27.41	27.3	27.24	28.57	29.37	29.5	30.55	30.53	30.55	32.5	34.76	36.43	36.75	37.82
LC-2B1R8-2.75 (90 mm)	30.53	31.45	32.14	32.02	32.38	33.14	33.42	30.18	33.32	34.81	36.32	37.23	39.26	41.74	42.64	45.86	46.96	47.81	45.75
LC-2B1R8-2.75 (120 mm)	20.48	21.67	22.6	23.65	24.7	25.63	25.58	25.31	25.32	25.03	26.02	29.85	30.63	26.62	28.37	29.85	32.39	35.16	35.94
LC-2B1R-8-2 (60 mm)	16.52	17.04	19.01	20.08	21.25	22.52	23.4	23.26	24.85	26.18	26.88	27.38	28.46	29.25	31.2	33	34.26	35.79	36.79
LC-2B1R-8-2 (90 mm)	16.88	18.51	19.62	21.34	21.93	23.47	24.32	25.4	25.98	26.16	24.45	22.68	23.58	25.71	25.99	26.33	27.11	27.57	27.96
LC-2B1R8-2 (120 mm)	20.74	21.48	23.38	24.54	25.74	26.72	26.97	27.74	27.53	27.52	28.49	31.83	41.37	46.79	47.22	50.39	50.38	47.72	55.49
LC-2B1R8-3.5 (60 mm)	19.11	20.99	22.26	22.88	24.54	25.74	27.11	25.99	27.51	29.02	27.44	24.49	20.38	21.84	24.12	24.71	25.97	26.99	30.67
LC-2B1R8-3.5 (90 mm)	23.78	24.83	24.8	26.18	27.37	26.31	27.77	28.6	28.61	28.59	27.49	28.15	30.12	32.38	34.4	36.21	38.86	40.32	47.14
LC-2B1R8-3.5 (120 mm)	22.52	22.91	24.8	25.63	26.9	26.49	27.07	27.01	26.06	26.07	28.63	31.06	32.03	35.28	37.56	40.33	44.45	48.98	51.97
LC-2R1B8-2 (60 mm)	9.51	11.19	12.16	13.45	15.31	16.44	17.97	18.05	19.86	21.45	21.61	20.81	18.88	20.97	24.04	24.61	25.21	27.55	28.5
LC-2R1B8-2 (90 mm)	16.27	17.26	18.84	20.19	21.58	22.92	24.01	24.82	25.35	25.81	24.76	23.8	27.87	29.86	30.71	32.53	33.22	34.39	33.96
LC-2R1B8-2 (120 mm)	18.85	19.94	21.43	22.73	22.76	24.58	24.55	24.98	24.45	23.17	23.93	27.64	30.93	32.6	36.5	40.94	43.86	46.79	45.12
LC-2R1B8-3.5 (60 mm)	13.44	13.55	15.18	15.69	16.79	17.66	18.95	20.01	20.85	21.94	20.85	19.07	15.44	14.3	17.01	17.93	16.86	18.76	20.95
LC-2R1B8-3.5 (90 mm)	15.33	16.8	17.99	18.82	20.13	21.27	22.33	21.46	22.17	21.58	20.09	21.43	24.05	26.19	29.45	32.11	31.31	32.99	37.35
LC-2R1B8-3.5 (120 mm)	16.98	18.11	19.08	20.35	21.24	22.19	22.34	22.33	21.36	19.62	22.54	26.75	29.49	29.76	30.88	33.59	41.19	43.09	44.88

Malzemelerin ağırlıklı ses azaltım indeksleri (R_w) ise empedans tüpü sonuçlarının TS EN ISO 717-1:2013'e uygun olarak tek sayılı değere dönüştürülmesi ile bulunmuş (Ek B.2), mekanik deneyler sonucu elde edilen basınç dayanımı ile karşılaştırmalar yapılmıştır.

Çalışmanın bu bölümünde harçların kritik frekans (f_c) (5.1), boylamsal dalgaların hızı (c_L) (5.2) ve doğal (rezonans) frekansı (f_{11}) (5.3) hesabında aşağıdaki formüllerden yararlanılmıştır. Formüller yayınık gelen sese uygun formüller olup empedans tüpü ölçümlerinde sesin normal geliş açısıyla geldiği bilinmektedir. Yine de çalışma kapsamında bu formüllerden bir öngörü oluşturmak amacıyla faydalanılmış ve empedans tüpü ölçüm sonuç grafiklerine eklenmiştir. c_L boylamsal dalgaların hızını, D numunenin çapını, h numunenin kalınlığını, c panelin etrafındaki havanın hızını, ρ_w duvarın veya panelin yoğunluğunu, E elastiklik modülünü ve σ Poisson oranını temsil etmektedir. Empedans tüpünde test edilmesi için üretilen numuneler silindirik olduğu için formüller dairesel numunelere uygun olarak seçilmiştir. D çapında ve h kalınlığında dairesel bir panel için hesaplamalar şu şekildedir:

$$f_c = \frac{\sqrt{3}\, c^2}{\pi c_L h} \tag{5.1}$$

$$c_L = \left[\frac{E}{\rho_w(1-\sigma^2)}\right]^{1/2} \tag{5.2}$$ (Young ve diğ, 2012)

$$f_{11} = \frac{10.2 c_L h}{\pi\sqrt{3}\, D^2} \tag{5.3}$$

Malzemelere ait hesaplamalar yukarıdaki formüllere uygun olarak yapılmış ve ağırlıklı ses azaltım indeksleri (R_w, empedans tüpü ve INSUL için), rezonans frekansı (f_{11}) ve kritik frekans (f_c) değerleri Çizelge 4.7'de toplu olarak verilmiştir.

Çizelge 4.7: Sonuçların (R değerinin) tek bir sayıya (R_w değerine) dönüştürülmüş değeri, rezonans frekansları (f_{11}) ve kritik frekanslar (f_c).

Numune Kodu	R_w (tüp, dB)	R_w (INSUL, dB)	f_{11} (Hz)	f_c (Hz)
PC-S2-2.75 (60 mm)	26	41	39.07	292.77
PC-S2-2.75 (90 mm)	29	47	58.61	195.18
PC-S2-2.75 (120 mm)	26	50	78.14	146.39
LC-S2-2.75 (60 mm)	25	41	32.03	349.27
LC-S2-2.75 (90 mm)	25	45	48.45	232.84
LC-S2-2.75 (120 mm)	22	49	64.6	174.63

LC-S8-2.75 (60 mm)	23	43	35.5	317.75
LC-S8-2.75 (90 mm)	26	48	53.38	211.84

Çizelge 4.7 (devam): Sonuçların (R değerinin) tek bir sayıya (R_w değerine) dönüştürülmüş değeri, rezonans frekansları (f_{11}) ve kritik frekanslar (f_c).

LC-S8-2.75 (120 mm)	29	52	71.73	158.88
LC-B8-2.75 (60 mm)	29	47	32.51	356.58
LC-B8-2.75 (90 mm)	27	52	48.77	237.72
LC-B8-2.75 (120 mm)	21	56	65.03	178.29
LC-R8-2.75 (60 mm)	29	39	13.26	1040.31
LC-R8-2.75 (90 mm)	27	41	19.89	693.53
LC-R8-2.75 (120 mm)	29	43	26.52	520.15
LC-2B1R8-2 (60 mm)	27	45	12.23	1070.66
LC-2B1R8-2 (90 mm)	25	47	18.34	713.78
LC-2B1R8-2 (120 mm)	31	49	24.46	535.33
LC-2B1R8-3.5 (60 mm)	25	45	13.00	1008.72
LC-2B1R8-3.5 (90 mm)	30	48	19.50	672.48
LC-2B1R8-3.5 (120 mm)	30	50	26.01	504.36
LC-2R1B8-2 (60 mm)	21	42	14.28	1046.61
LC-2R1B8-2 (90 mm)	27	44	21.42	697.74
LC-2R1B8-2 (120 mm)	28	46	28.56	523.30
LC-2R1B8-3.5 (60 mm)	18	42	13.58	1101.57
LC-2R1B8-3.5 (90 mm)	24	44	20.37	734.38
LC-2R1B8-3.5 (120 mm)	26	46	27.16	550.78

4.2.1 Ağırlıklı ses azaltım indeksi (R_w) değerinin doğruluğunun INSUL programıyla kontrolü

Üretilen malzemelerin ağırlıklı ses azaltım indeksleri (R_w) empedans tüpü sonuçları TS EN ISO 717-1:2013'e uygun olarak tek sayılı değere dönüştürülmüş ve bu yöntemin doğruluğu INSUL simülasyon programı aracılığı ile kontrol edilmiştir. Empedans tüpünde elde edilen değerler 1/3 oktav bandında INSUL programına girilerek R_w değerleri elde edilmiştir. Program sonuçları ile standart hesaplama sonuçları birbirleriyle örtüşmektedir. Programa girilen değerler ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4.8'de ve hesaplama programına ait detaylar Ek B'de bulunabilir.

Çizelge 4.8: Empedans tüpü sonuçlarının INSUL programına girilerek elde edilen R_w değerleri.

	1/3 Oktav Bant Frekansları																			
Numune Kodu	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	R_w	*C;Ctr*
PC-S2-2.75 (60 mm)	12	12	15	16	17	19	19	20	21	22	27	33	43	43	44	48	51	56	**26**	**-1;-4**
PC-S2-2.75 (90 mm)	19	22	21	21	23	23	24	25	26	25	28	32	42	46	46	49	53	57	**30**	**-1;-3**
PC-S2-2.75 (120 mm)	22	23	23	24	25	26	26	25	26	24	24	26	25	25	27	30	30	33	**26**	**0;-1**
LC-S2-2.75 (60 mm)	11	11	14	15	17	18	20	20	21	22	25	26	31	31	32	34	35	37	**25**	**-1;-4**
LC-S2-2.75 (90 mm)	21	21	23	24	24	21	26	25	26	25	24	24	24	25	24	28	28	33	**25**	**0;-1**
LC-S2-2.75 (120 mm)	28	27	27	27	27	27	28	27	26	26	24	23	20	18	21	22	25	27	**22**	**0;1**
LC-S8-2.75 (60 mm)	16	18	19	20	21	22	23	23	25	25	22	19	24	21	22	25	21	25	**23**	**-1;-1**
LC-S8-2.75 (90 mm)	18	19	21	22	23	24	25	25	25	25	24	24	27	26	25	30	29	30	**26**	**-1;-2**
LC-S8-2.75 (120 mm)	18	20	21	22	23	24	26	26	27	28	27	28	28	29	32	33	33	35	**29**	**-1;-3**
LC-B8-2.75 (60 mm)	15	16	19	19	20	22	23	23	25	25	29	32	37	38	39	40	42	45	**29**	**-1;-4**
LC-B8-2.75 (90 mm)	13	13	16	17	18	24	25	27	27	27	25	27	27	28	28	30	31	34	**27**	**-1;-3**
LC-B8-2.75 (120 mm)	17	17	19	21	22	23	24	24	24	22	18	19	21	20	22	24	25	26	**21**	**0;0**
LC-R8-2.75 (60 mm)	21	22	23	24	25	26	27	27	28	27	27	30	32	28	27	30	30	32	**29**	**-1;-2**
LC-R8-2.75 (90 mm)	20	21	22	23	24	25	26	26	26	25	27	29	29	28	28	29	29	31	**28**	**-1;-2**
LC-R8-2.75 (120 mm)	22	23	24	25	26	26	27	26	27	28	28	29	27	29	31	34	36	41	**29**	**-1;-2**
LC-2R1B8-2.75 (60 mm)	20	22	22	23	24	25	27	26	28	28	29	28	26	27	27	29	28	29	**28**	**-1;-1**
LC-2R1B8-2.75 (90 mm)	21	22	23	24	25	25	27	26	27	26	26	27	30	30	31	31	32	33	**28**	**0;-1**
LC-2R1B8-2.75 (120 mm)	20	21	23	24	25	26	26	26	26	25	27	30	32	34	36	38	40	44	**30**	**-1;-3**
LC-2B1R8-2.75 (60 mm)	23	24	25	25	26	27	27	27	28	29	30	31	31	31	33	35	36	37	**30**	**0;-1**
LC-2B1R8-2.75 (90 mm)	31	31	32	32	32	33	33	30	33	35	36	37	39	42	43	46	47	48	**37**	**-1;-2**
LC-2B1R8-2.75 (120 mm)	20	22	23	24	25	26	25	25	25	25	26	30	31	27	28	30	32	35	**27**	**0;-1**
LC-2B1R-8-2 (60 mm)	17	17	19	20	21	23	23	23	25	26	27	27	28	29	31	33	34	36	**27**	**0;-2**
LC-2B1R-8-2 (90 mm)	17	19	20	21	22	23	24	25	26	26	24	23	24	26	26	26	27	28	**25**	**0;-1**
LC-2B1R8-2 (120 mm)	21	21	23	24	26	27	27	28	27	28	28	31	41	47	47	50	50	48	**31**	**0;-3**
LC-2B1R8-3.5 (60 mm)	19	21	22	23	25	26	27	26	28	29	27	24	20	22	24	25	26	27	**25**	**-1;-1**
LC-2B1R8-3.5 (90 mm)	24	25	25	26	27	26	28	29	29	29	27	28	30	32	34	36	39	40	**30**	**0;-2**
LC-2B1R8-3.5 (120 mm)	23	23	25	26	27	26	27	27	26	26	29	31	32	35	38	40	44	49	**30**	**0;-2**
LC-2R1B8-2 (60 mm)	10	11	12	13	15	16	18	18	20	21	22	21	19	21	24	25	25	28	**21**	**-1;-2**
LC-2R1B8-2 (90 mm)	16	17	19	20	22	23	24	25	25	26	25	24	28	30	31	33	33	34	**27**	**-1;-3**
LC-2R1B8-2 (120 mm)	19	20	21	23	23	25	25	25	24	23	24	28	31	33	37	41	44	47	**28**	**-1;-3**
LC-2R1B8-3.5 (60 mm)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	21	19	15	14	17	18	17	19	**18**	**-1;0**
LC-2R1B8-3.5 (90 mm)	15	17	18	19	20	21	22	21	22	22	20	21	24	26	29	32	31	33	**24**	**-1;-3**
LC-2R1B8-3.5 (120 mm)	17	18	19	20	21	22	22	22	21	20	23	27	29	30	31	34	41	43	**26**	**-1;-3**

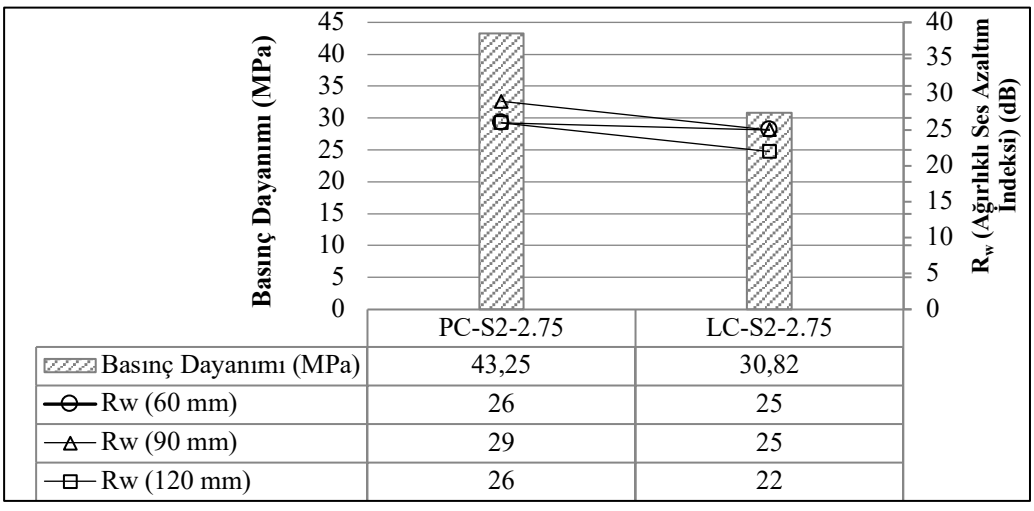
INSUL simülasyon programına empedans tüpü sonuçları frekanslar bazında girilmiş ve ağırlıklı ses azaltım indeksi (R_w) sonuçlarının TS EN ISO 717-1:2013'e uygun hesap sonuçlarıyla uyumlu olduğu görülmüştür.

4.2.2. LC^3 ve Portland Çimentosu (PC) harcının ses iletim kaybı üzerindeki etkisi

Bağlayıcı türünün (PC ve LC^3) harcın ses iletim kaybı değeri üzerindeki etkisi incelenmiştir. LC^3 bağlayıcılarıyla oluşturulmuş harçlardaki toplam gözeneklilik artışının harcın ses iletim kaybı değerini belirli kalınlıklarda azaltıp artırdığı gözlenmektedir. Farklı kalınlıklardaki numunelere ait kütle, birim yüzey kütlesi, rezonans frekansı ve kritik frekans verileri Çizelge 4.9'da mevcuttur. LC^3 harcında fiziksel özeliklere paralel olarak 0.71 kat azalan basınç dayanımı ve 0.86 kat azalan ultrases hızı değerleri, numunenin R_w değerini de 60, 90 ve 120 mm'de sırasıyla 0.96, 0.86, 0.85 kat azaltmıştır (Şekil 4.11).

Çizelge 4.9: Farklı kalınlıktaki numunelere (60-90-120 mm) ait kütle, birim yüzey kütlesi, rezonans frekansı f_{11}(Hz) ve kritik frekans f_c (Hz) verileri.

	98 mm (g, g/cm^2)	28mm (g, g/cm^2)	f_{11}(Hz)	f_c (Hz)
PC-S2-2.75 (60 mm)	951.15 , 12.61	72.85 , 11.84	39.07	292.77
PC-S2-2.75 (90 mm)	1451.8 , 19.25	107.00 , 17.39	58.61	195.18
PC-S2-2.75 (120 mm)	1793.72 , 23.79	133.32 , 21.67	78.14	146.39
LC-S2-2.75 (60 mm)	885.37 , 11.74	67.65 , 11	32.03	349.27
LC-S2-2.75 (90 mm)	1360.48 , 18.04	102.71 , 16.70	48.45	232.84
LC-S2-2.75 (120 mm)	1820.64 , 24.14	135.6 , 22.04	64.6	174.63

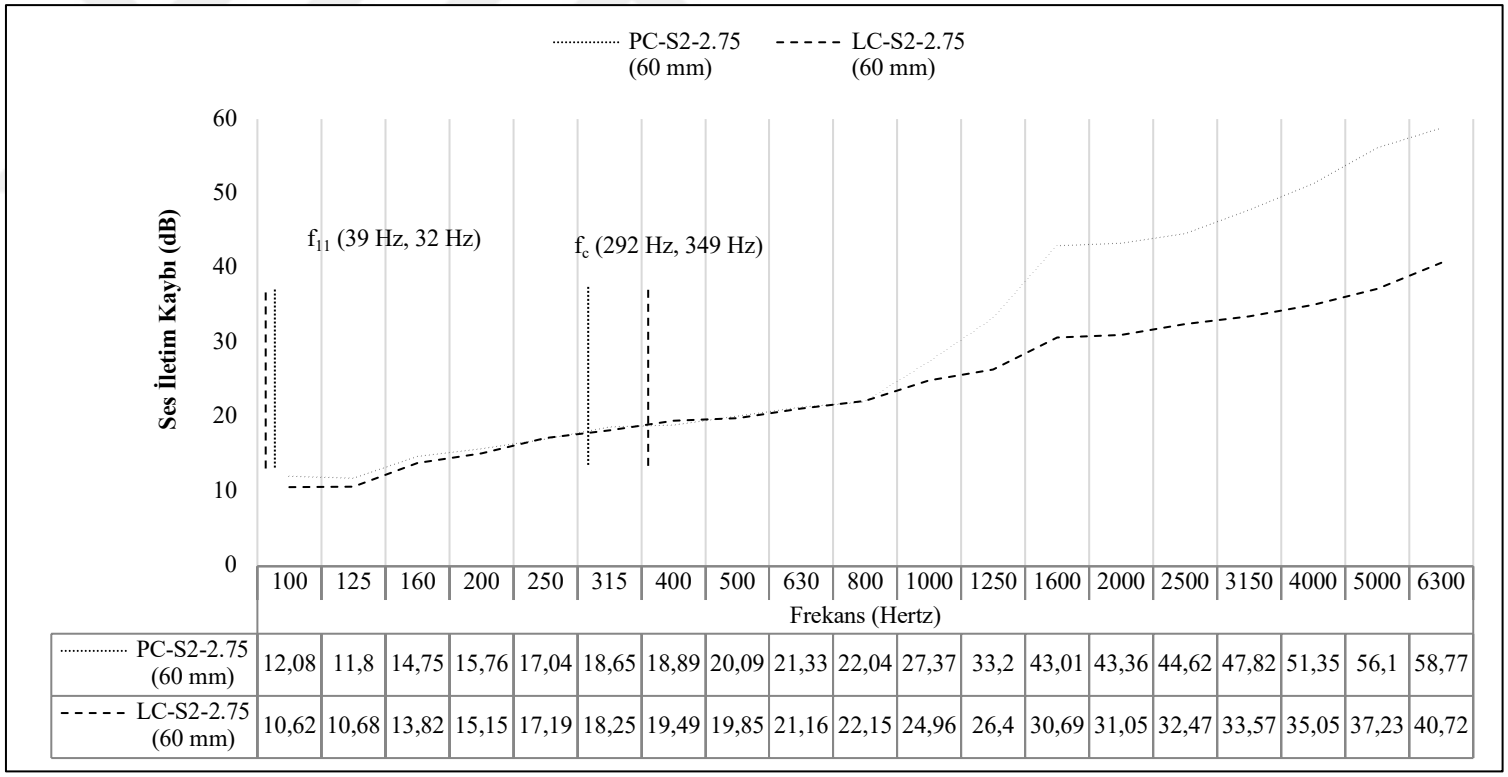


Şekil 4.11: Farklı bağlayıcı türleriyle (LC^3 ve Portland Çimentosu) oluşturulmuş numunelerin basınç dayanımı ve kalınlığa bağlı ağırlıklı ses azaltım indeksleri.

- 60 mm kalınlığındaki numunelerin ses iletim kaybı

Düşük ve orta frekanslarda birbirlerine çok yakın performans sergileyen 60 mm kalınlığındaki PC ve LC^3 bağlayıcılı harçlar yüksek frekanslarda farklılık göstererek PC'lu karışımda LC^3'li karışıma nazaran ses iletim kaybı değerlerinin arttığı görülmektedir. Düşük frekanslarda etkili parametreler malzemenin yüzey yoğunluğu, rijitliği ve sönümlemesidir. Aynı kalınlıkta iki harcın yüzey yoğunluğu PC'lu harçta LC^3'li harca göre daha fazladır. Bu nedenle PC'lu harcın ses iletim kaybı değeri düşük frekanslarda yakın ancak az farkla daha yüksek sonuç vermiştir. Orta frekans aralığında malzemenin kütlesi etkilidir. Orta frekans aralığında da PC'lu harç ağırlığından dolayı daha yüksek ses iletim kaybı değeri göstermiştir. Yüksek frekanslarda malzemenin rijitliği ve ağırlığı birlikte etkilidir ve LC^3'li harca nazaran elastiklik modülü daha yüksek olan PC'lu harcın ses iletim kaybı değerinin bu aralıkta arttığı görülmektedir (Şekil 4.12). Yayınık gelen ses formülüyle hesaplanan numunelere ait rezonans frekansı ve kritik frekanslar Şekil 4.12'ye işlenmiştir. 200 mm kalınlığında bir betonun rezonans frekansı 110 Hz (Barron, 2003) olduğundan 60 mm kalınlığındaki PC ve LC harçlarının rezonans frekansının 39 Hz ve 32 Hz olması anlamlıdır. Ancak bu frekanslar ölçüm frekans aralığının dışında kalmaktadır. Harçların aynı sırayla hesaplanan kritik frekans değerlerine bakıldığında bu noktalarda STL değerinde bir düşüş gözlenmemiş ve her iki harçta 1000 Hz'e kadar yakın değerler elde edilmiştir.

Kim ve diğerlerinin (2012) çalışmasından yapılan çıkarıma göre, STL analizi yapılırken beton numunelerin yüksek kalınlıklarından dolayı ses yutma özeliği de dikkate alınmalıdır. Beton tipi ne olursa olsun (ağır veya hafif beton), belirli bir frekans aralığında STL değerinde ani düşüşe neden olan çakışma etkisinin frekansı yani rezonans frekansı, genellikle düşük frekanslarda (300–600 Hz aralığında) olur. Bu sonuç ayrıca malzemenin kalınlığına, elastiklik modülüne ve ses dalgasının geliş açısına da bağlıdır.

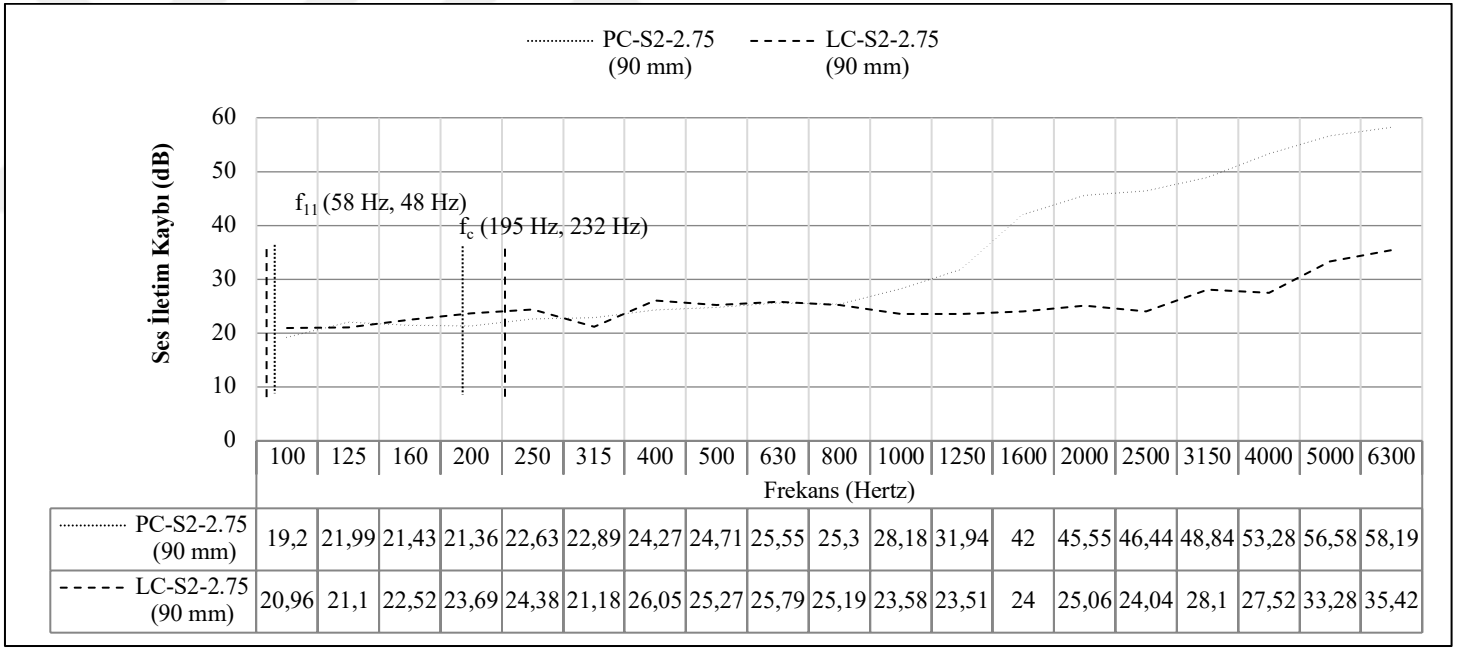


	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300
PC-S2-2.75 (60 mm)	12,08	11,8	14,75	15,76	17,04	18,65	18,89	20,09	21,33	22,04	27,37	33,2	43,01	43,36	44,62	47,82	51,35	56,1	58,77
LC-S2-2.75 (60 mm)	10,62	10,68	13,82	15,15	17,19	18,25	19,49	19,85	21,16	22,15	24,96	26,4	30,69	31,05	32,47	33,57	35,05	37,23	40,72

Şekil 4.12: PC ve LC[3] numunelerinin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları (60 mm).

- 90 mm kalınlığındaki numunelerin ses iletim kaybı

PC bağlayıcısı ile üretilen harçların yüzey yoğunluğu, LC^3 bağlayıcısı ile üretilen harçlara göre daha yüksektir (Çizelge 4.9). Düşük frekanslarda rijitlik ve sönümleme, STL değerini etkilediği için harçların elastiklik modülü ve porozite değerleri karşılaştırılabilir. PC bağlayıcısının farklı frekanslardaki STL değeri 19.2 dB ile 58.1 dB arasında değişmektedir. Yüksek frekans aralığında (1600–6300 Hz) PC harcının STL değeri en yüksek değeri almış ve 42 ila 58.1 dB arasında değişmektedir. LC^3 bağlayıcısının STL değeri, farklı frekanslarda 20.9 dB ila 35.4 dB arasında değişmektedir. PC harcında elastiklik modülü daha yüksektir, ancak LC^3 harcı daha yüksek gözenekliliğe ve daha küçük gözenek boyutuna sahiptir (kapilarite katsayısı; LC-S2: 0.041>PC-S2: 0.026). Bu nedenle düşük frekans aralığında (100–315 Hz) STL değerleri birbirine çok yakındır. Orta frekans aralığında, malzemenin kütlesi etkilidir. PC harcının orta frekans aralığındaki (315–1600 Hz) ağırlığından dolayı PC harcı, özellikle 800 Hz'den sonra daha yüksek STL değerleri göstermiştir. Yüksek frekans aralığında (1600–6300 Hz), malzemenin rijitliği ve kütlesi birlikte etkilidir. LC^3 harcına göre daha yüksek kütleye ve elastiklik modülüne sahip olan PC harcının ses iletim kaybı değerinin de bu frekans aralığında arttığı görülmektedir. LC^3 harcının kütlesinin (0.89 kat) ve elastiklik modülünün azalması, yüksek frekans aralığında STL değerinde yaklaşık 18–25 dB'lik bir azalmaya neden olmuştur (Şekil 4.13). Yayınık gelen ses formülüyle hesaplanan numunelere ait rezonans frekansı ve kritik frekanslar Şekil 4.13'e işlenmiştir. 90 mm kalınlığındaki PC ve LC harçlarının rezonans frekansları 58 Hz ve 48 Hz olarak hesaplanmıştır. Bu frekanslar da ölçüm frekans aralığının dışında kalmaktadır. Harçların aynı sırayla hesaplanan kritik frekans değerlerine bakıldığında bu noktalarda LC^3 harcında kritik frekanstan sonra, STL değerinde bir düşüş gözlenmiş, PC harcında bir düşüş olmamıştır.

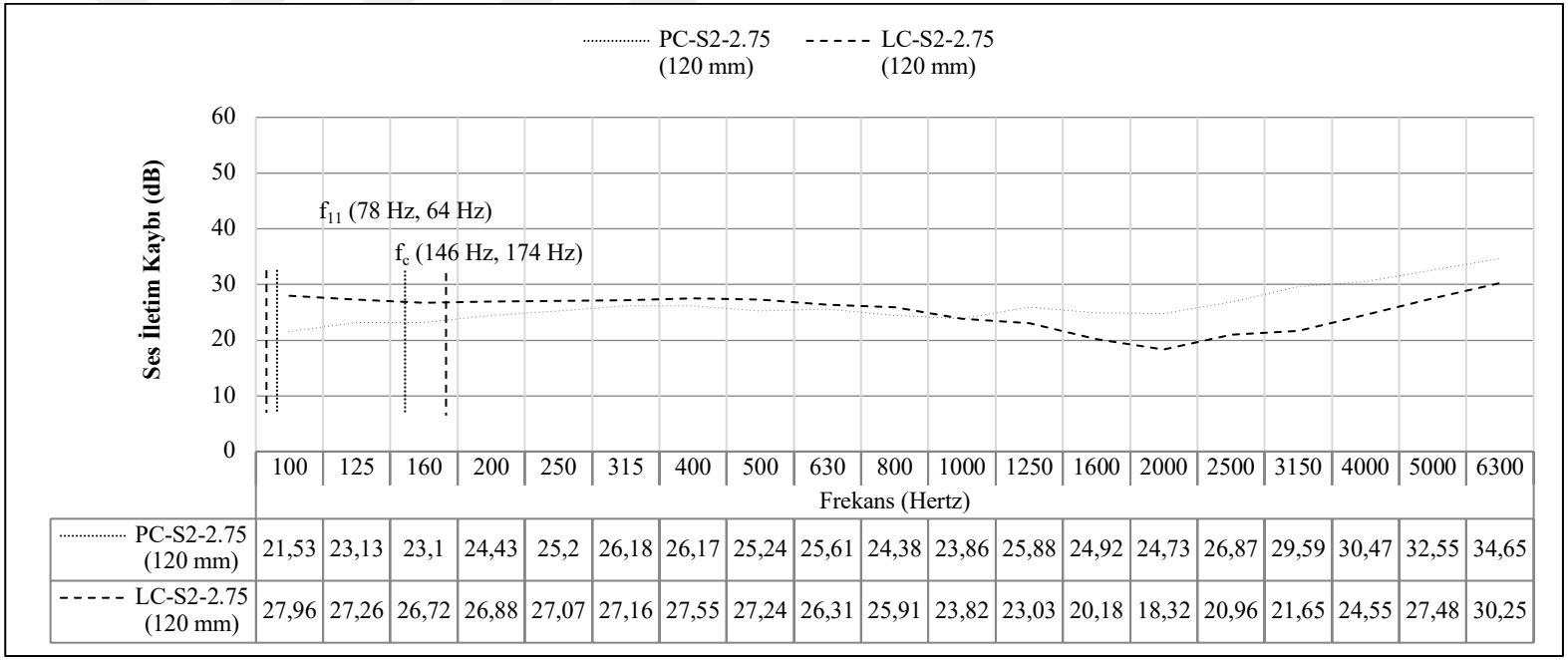


	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300
PC-S2-2.75 (90 mm)	19,2	21,99	21,43	21,36	22,63	22,89	24,27	24,71	25,55	25,3	28,18	31,94	42	45,55	46,44	48,84	53,28	56,58	58,19
LC-S2-2.75 (90 mm)	20,96	21,1	22,52	23,69	24,38	21,18	26,05	25,27	25,79	25,19	23,58	23,51	24	25,06	24,04	28,1	27,52	33,28	35,42

Şekil 4.13: PC ve LC[3] numunelerinin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları (90 mm).

- 120 mm kalınlığındaki numunelerin ses iletim kaybı

Düşük frekanslarda 120 mm kalınlığındaki LC^3 bağlayıcılı harçlar PC'li harçlardan daha yüksek ses iletim kaybı değeri almıştır. LC^3 bağlayıcılı harcın yüzey yoğunluğunun ve toplam gözeneklilik miktarının PC'lu harca göre daha fazla olması ses yalıtım değerlerini artırmıştır. Yüksek frekanslarda PC'lu harcın ses iletim kaybı değeri artmıştır. PC'lu harcın elastiklik modünün LC^3 bağlayıcılı harçtan büyük olması ve kalınlık artışı malzemedeki ses iletim kaybı değerlerini 120 mm kalınlığında iyileştirmiştir (Şekil 4.14). Düşük frekanslarda gelen sesi engellemek zordur. Bu nedenle daha kalın da olsa 120 mm'lik LC^3'li harcın düşük frekans aralığındaki ses iletim kaybı değerinin artması çalışma kapsamında önem kazanmıştır. Yayınık gelen ses formülüyle hesaplanan numunelere ait rezonans frekansı ve kritik frekanslar Şekil 4.14'e işlenmiştir. 120 mm kalınlığındaki numunelerin rezonans frekansları PC ve LC harçları için sırasıyla 78 Hz ve 64 Hz olarak hesaplanmıştır. Bu frekanslar da ölçüm frekans aralığının dışında kalmaktadır. Harçların aynı sırayla hesaplanan kritik frekans değerlerine bakıldığında bu noktalarda harçlarda kritik frekanslardan sonra, STL değerinde belli bir düşüş gözlenmemiştir.

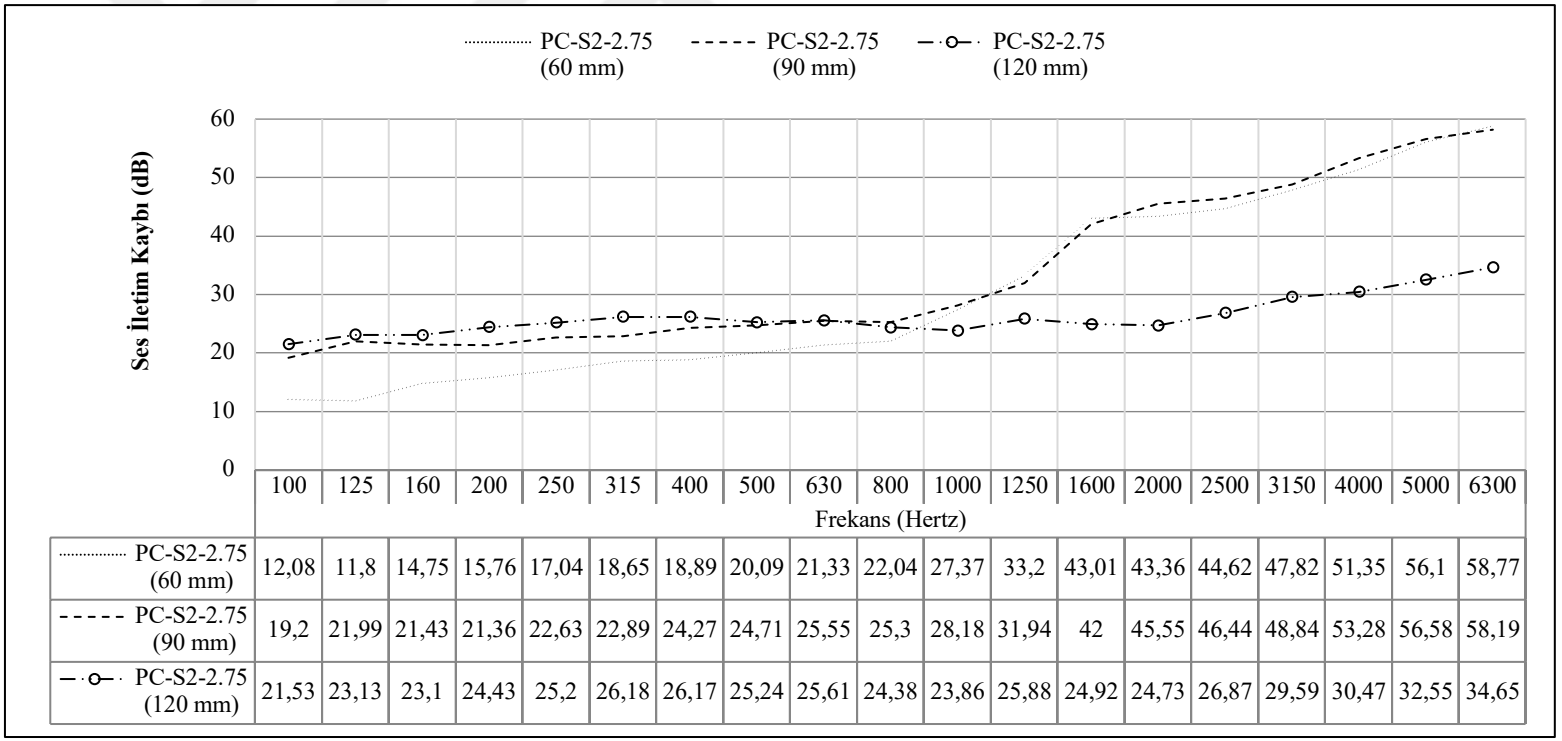


	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300
PC-S2-2.75 (120 mm)	21,53	23,13	23,1	24,43	25,2	26,18	26,17	25,24	25,61	24,38	23,86	25,88	24,92	24,73	26,87	29,59	30,47	32,55	34,65
LC-S2-2.75 (120 mm)	27,96	27,26	26,72	26,88	27,07	27,16	27,55	27,24	26,31	25,91	23,82	23,03	20,18	18,32	20,96	21,65	24,55	27,48	30,25

Şekil 4.14: PC ve LC[3] numunelerinin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları (120 mm).

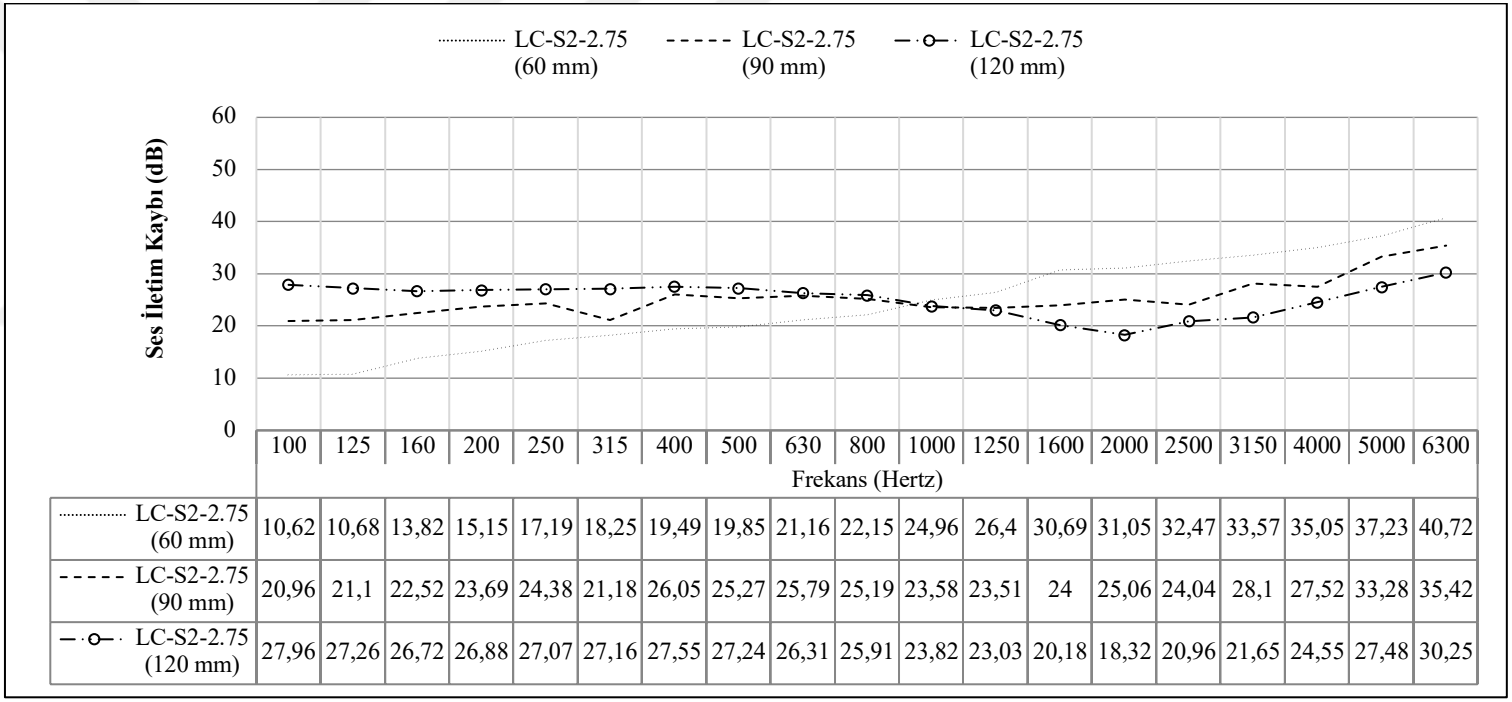
- Kalınlık artışının numunenin ses iletim kaybı değerine etkisi

60 mm'den 90 mm ve 120 mm'ye artan kalınlık her iki harçta da düşük ve orta frekanslarda STL değerini artırmıştır. Aynı numunelerin elastiklik modülü verileri aynı olduğundan, artan kalınlık ses iletim kaybı değerinin artırmasını sağlamıştır. Orta frekanslarda kütlenin etkisiyle en düşük STL değeri 60 mm'lik numunelerde, en yüksek 120 mm'lik numunelerde elde edilmiştir. Yüksek frekanslarda malzemelerin ses iletim kaybı sonuçları yakın değerler almıştır (Şekil 4.15 ve Şekil 4.16). Kalınlık artışının belirli frekanslarda ses iletim kaybı verilerini azaltması sonucu literatüre uygundur (Herrero ve diğ, 2013). Bu durum belirli bir kalınlığın üzerinde sonuçların iyileşmeyeceği optimum bir kalınlığın olduğu varsayımının dikkate alınmasına yol açar.



	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300
PC-S2-2.75 (60 mm)	12,08	11,8	14,75	15,76	17,04	18,65	18,89	20,09	21,33	22,04	27,37	33,2	43,01	43,36	44,62	47,82	51,35	56,1	58,77
PC-S2-2.75 (90 mm)	19,2	21,99	21,43	21,36	22,63	22,89	24,27	24,71	25,55	25,3	28,18	31,94	42	45,55	46,44	48,84	53,28	56,58	58,19
PC-S2-2.75 (120 mm)	21,53	23,13	23,1	24,43	25,2	26,18	26,17	25,24	25,61	24,38	23,86	25,88	24,92	24,73	26,87	29,59	30,47	32,55	34,65

Şekil 4.15: Farklı kalınlıklarda (60-90-120 mm) PC numunelerinin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları.



	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300
LC-S2-2.75 (60 mm)	10,62	10,68	13,82	15,15	17,19	18,25	19,49	19,85	21,16	22,15	24,96	26,4	30,69	31,05	32,47	33,57	35,05	37,23	40,72
LC-S2-2.75 (90 mm)	20,96	21,1	22,52	23,69	24,38	21,18	26,05	25,27	25,79	25,19	23,58	23,51	24	25,06	24,04	28,1	27,52	33,28	35,42
LC-S2-2.75 (120 mm)	27,96	27,26	26,72	26,88	27,07	27,16	27,55	27,24	26,31	25,91	23,82	23,03	20,18	18,32	20,96	21,65	24,55	27,48	30,25

Şekil 4.16: Farklı kalınlıklarda (60-90-120 mm) LC^3 numunelerinin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları.

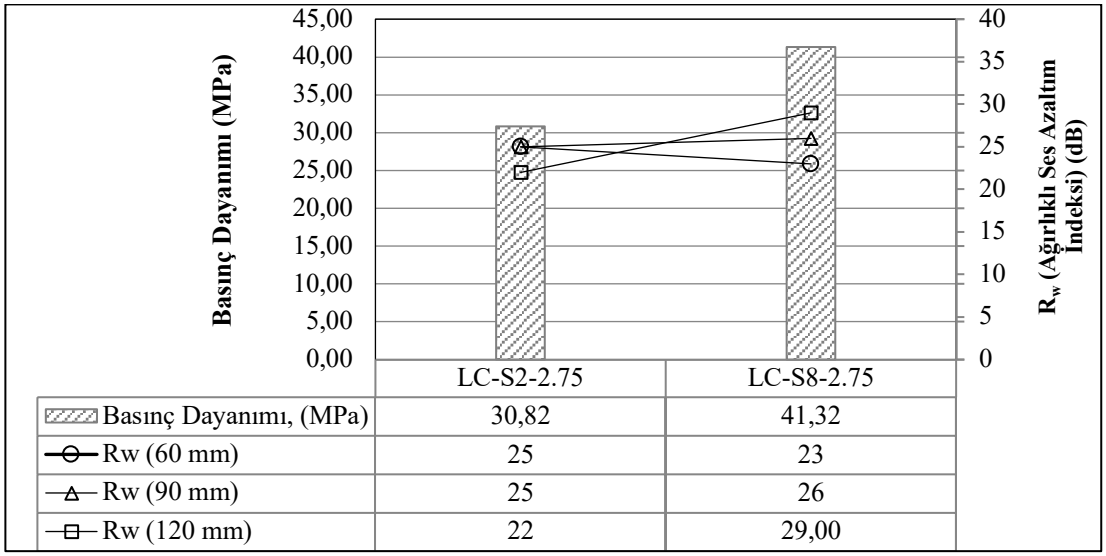
4.2.3 Agrega dane boyutunun ve cinsinin LC^3 harcının ses iletim kaybı üzerindeki etkisi

4.2.3.1 Agrega dane boyutunun LC^3 harcının ses iletim kaybı üzerindeki etkisi

Toplam gözeneklilik oranındaki değişime paralel olarak dane boyutunun küçük olduğu ve büyük olduğu harçlarda STL değerleri kalınlıklara ve frekanslara göre değişiklik göstermiştir. Farklı kalınlıklardaki harçlara ait kütle, birim yüzey kütlesi, rezonans frekansı ve kritik frekans verileri Çizelge 4.10'da mevcuttur. 8 mm dere kumu ile oluşturulmuş harcın 2 mm dere kumu ile oluşturulmuş harca göre dolu yapısı fiziksel deneyler sonucunda tespit edilmiş, buna paralel olarak S8 harcının basınç dayanımı değerlerinin de 0.45 kat arttığı görülmüştür. Ancak S8 harcında R_w değerleri 60 mm'de S2 harcından 0.92 kat azalmış, 90 mm'de 1.04 kat artmış, 120 mm'de 1.31 kat artmıştır. Artan agrega dane boyutu, R_w değerini daha kalın numunelerde artırmıştır denilebilir (Şekil 4.17).

Çizelge 4.10: Farklı kalınlıktaki numunelere ait (60-90-120 mm) kütle, birim yüzey kütlesi, rezonans frekansı f_{11} (Hz) ve kritik frekans f_c (Hz) verileri.

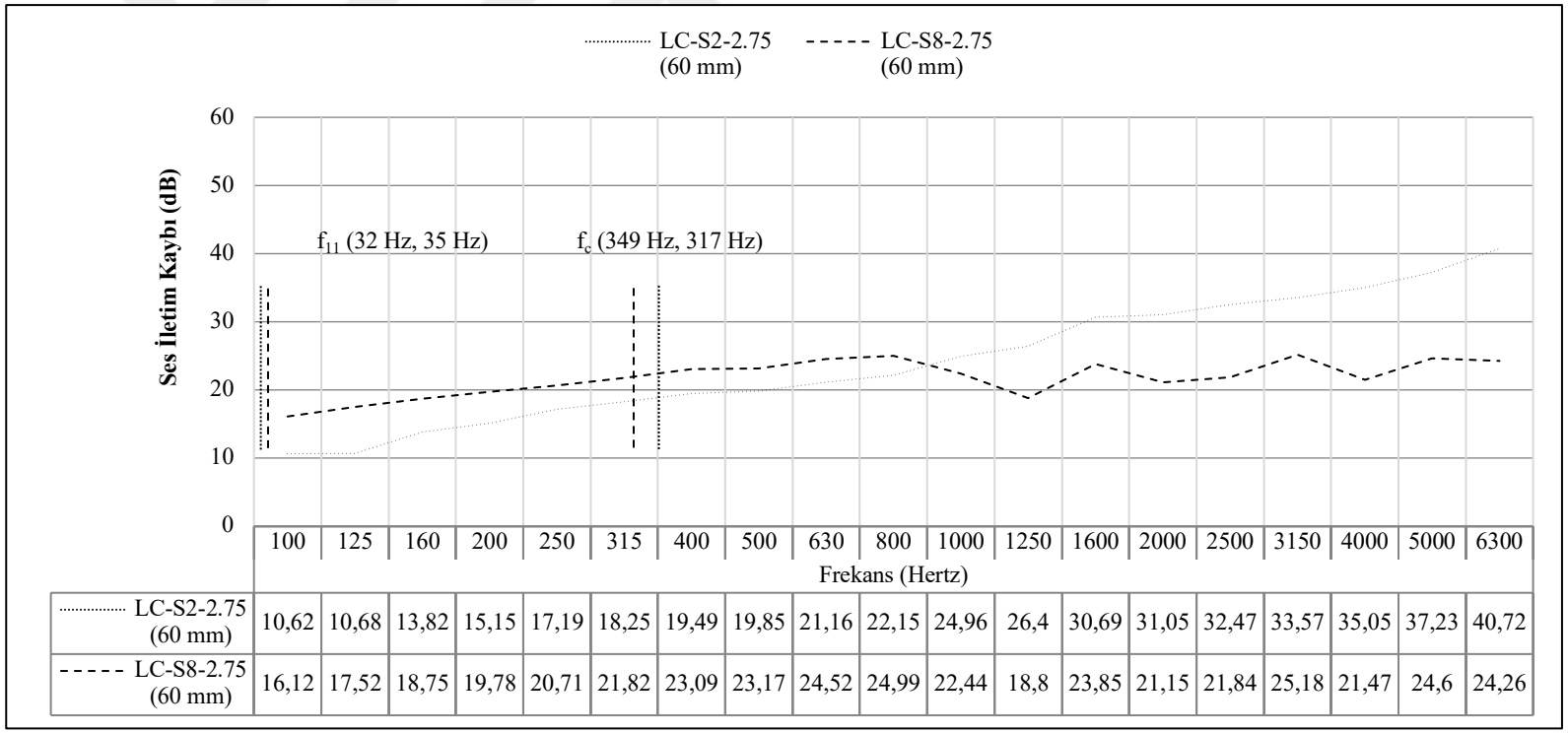
	98 mm (g, g/cm^2)	28mm (g, g/cm^2)	f_{11} (Hz)	f_c (Hz)
LC-S2-2.75 (60 mm)	885.37 , 11.74	67.65 , 11	32.03	349.27
LC-S2-2.75 (90 mm)	1360.48 , 18.04	102.71 , 16.70	48.45	232.84
LC-S2-2.75 (120 mm)	1820.64 , 24.14	135.6 , 22.04	64.6	174.63
LC-S8-2.75 (60 mm)	916.82, 12.17	66.94 , 10.88	35.5	317.75
LC-S8-2.75 (90 mm)	1377.29 , 18.26	102.78 , 16.71	53.38	211.84
LC-S8-2.75 (120 mm)	1840.56 , 24.41	138.63 , 22.54	71.73	158.88



Şekil 4.17: Farklı agrega dane boyutlarıyla (2mm ve 8 mm) oluşturulmuş LC^3 numunelerinin basınç dayanımı ve kalınlığa bağlı ağırlıklı ses azaltım indeksleri.

- 60 mm kalınlığındaki numunelerin ses iletim kaybı

Düşük frekans aralığında etkili parametreler malzemenin sönümlemesi ve rijitliğidir. Orta frekans aralığında malzemenin kütlesi etkilidir. Bu iki harçtan 8 mm dere kumu ile hazırlanmış harcın elastiklik modülü ve yüzey yoğunluğu, 2 mm dere kumu ile hazırlanmış harçtan daha fazladır. Buna göre düşük ve orta frekanslarda 8 mm'lik agregalar ile oluşturulmuş harçların ses iletim kaybı değerleri 2 mm'lik agregalarla oluşturulmuş harçlardan daha yüksektir. Yüksek frekanslarda malzemenin rijitliği, kalınlığı ve ağırlığı birlikte etkilidir. 2 mm agregalı harçta porozite oranının fazla olduğu fiziksel deneyler sonucunda görülmüştür. 8 mm agregalı harcın yüzey yoğunluğu 2 mm agregalı harca nazaran daha fazlaysa da rijitlik kontrolü 2 mm agregalı harçta sağlanmış ve ses iletim kaybı değerlerini artırmıştır (Şekil 4.18). Yayınık gelen ses formülüyle hesaplanan numunelere ait rezonans frekansı ve kritik frekanslar Şekil 4.18'e işlenmiştir. 60 mm kalınlığındaki S2 ve S8 harçlarının sırasıyla rezonans frekansları 32 Hz ve 35 Hz olarak hesaplanmıştır. Bu frekanslar da ölçüm frekans aralığının dışında kalmaktadır. Harçların aynı sırayla hesaplanan kritik frekans değerlerine bakıldığında (349 Hz ve 317 Hz) bu noktalarda kritik frekanslardan sonra, STL değerinde bir belli bir düşüş gözlenmemiştir.

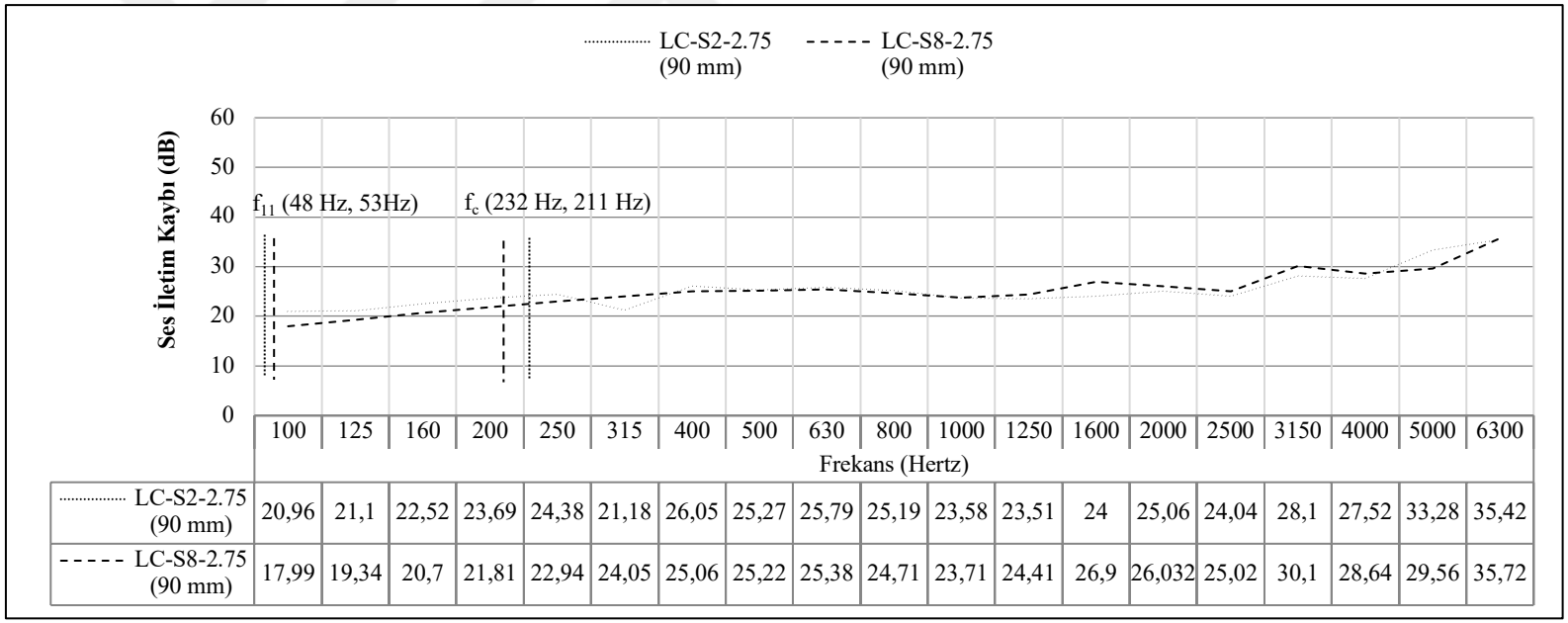


	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300
LC-S2-2.75 (60 mm)	10,62	10,68	13,82	15,15	17,19	18,25	19,49	19,85	21,16	22,15	24,96	26,4	30,69	31,05	32,47	33,57	35,05	37,23	40,72
LC-S8-2.75 (60 mm)	16,12	17,52	18,75	19,78	20,71	21,82	23,09	23,17	24,52	24,99	22,44	18,8	23,85	21,15	21,84	25,18	21,47	24,6	24,26

Şekil 4.18: 2 mm ve 8 mm dere kumu agregalarıyla hazırlanmış numunelerin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları (60 mm).

- 90 mm kalınlığındaki numunelerin ses iletim kaybı

8 mm dere kumu ile üretilen harçların yüzey yoğunluğu, 2 mm dere kumu ile üretilen harçlara göre daha yüksektir (Çizelge 4.10). Düşük frekanslarda rijitlik ve sönümleme, STL değerini etkilediği için harçların elastiklik modülü ve porozite değerleri karşılaştırılabilir. 2 mm dere kumlu harcın farklı frekanslardaki STL değeri 20.96 dB ile 35.42 dB arasında değişmektedir. 8 mm dere kumlu harcın STL değeri, farklı frekanslarda 17.99 dB ila 35.72 dB arasında değişmektedir. 8 mm dere kumlu harcın elastiklik modülü daha yüksektir, ancak 2 mm dere kumlu harç daha yüksek gözenekliliğe ve daha küçük gözenek boyutuna sahiptir (kapilarite katsayısı; LC-S2: 0.041>LC-S8: 0.037). Bu nedenle düşük frekans aralığında (100–315 Hz) 2 mm dere kumlu harç daha yüksek STL değeri göstermiştir. Orta frekans aralığında, malzemenin kütlesi etkilidir. Her iki harcın orta frekans aralığındaki (315–1600 Hz) kütleleri birbirlerine yakındır. Bu nedenle harçlar orta frekans aralığında yakın performans göstermişlerdir. Yüksek frekans aralığında (1600–6300 Hz), malzemenin rijitliği ve kütlesi birlikte etkilidir. 2 mm dere kumlu harca göre daha yüksek kütleye ve elastiklik modülüne sahip olan 8 mm dere kumlu harcın ses iletim kaybı değerinin de bu frekans aralığında arttığı görülmektedir. Yayınık gelen ses formülüyle hesaplanan numunelere ait rezonans frekansı ve kritik frekanslar Şekil 4.19'a işlenmiştir. 90 mm kalınlığındaki S2 ve S8 harçlarının sırasıyla rezonans frekansları 48 Hz ve 53 Hz olarak hesaplanmıştır. Bu frekanslar da ölçüm frekans aralığının dışında kalmaktadır. Harçların aynı sırayla hesaplanan kritik frekans değerlerine (232 Hz ve 211 Hz) bakıldığında bu noktalarda, STL değerinde bir düşüş gözlenmemiştir.

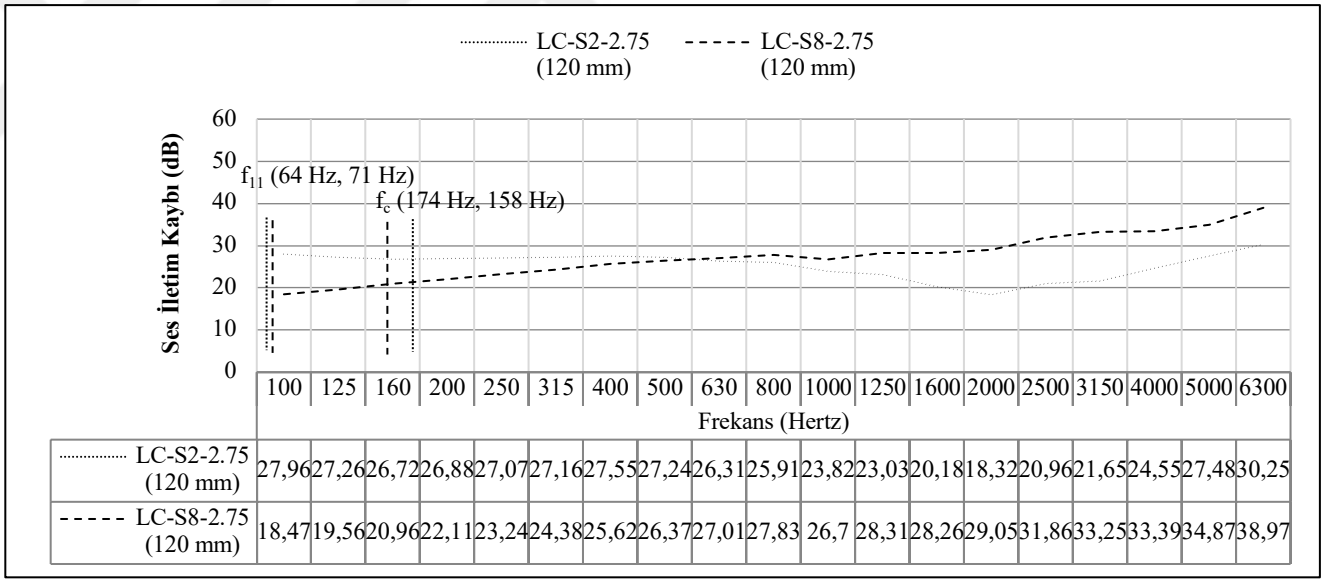


	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300
LC-S2-2.75 (90 mm)	20,96	21,1	22,52	23,69	24,38	21,18	26,05	25,27	25,79	25,19	23,58	23,51	24	25,06	24,04	28,1	27,52	33,28	35,42
LC-S8-2.75 (90 mm)	17,99	19,34	20,7	21,81	22,94	24,05	25,06	25,22	25,38	24,71	23,71	24,41	26,9	26,032	25,02	30,1	28,64	29,56	35,72

Şekil 4.19: 2 mm ve 8 mm dere kumu agregalarıyla hazırlanmış numunelerin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları (90 mm).

- 120 mm kalınlığındaki numunelerin ses iletim kaybı

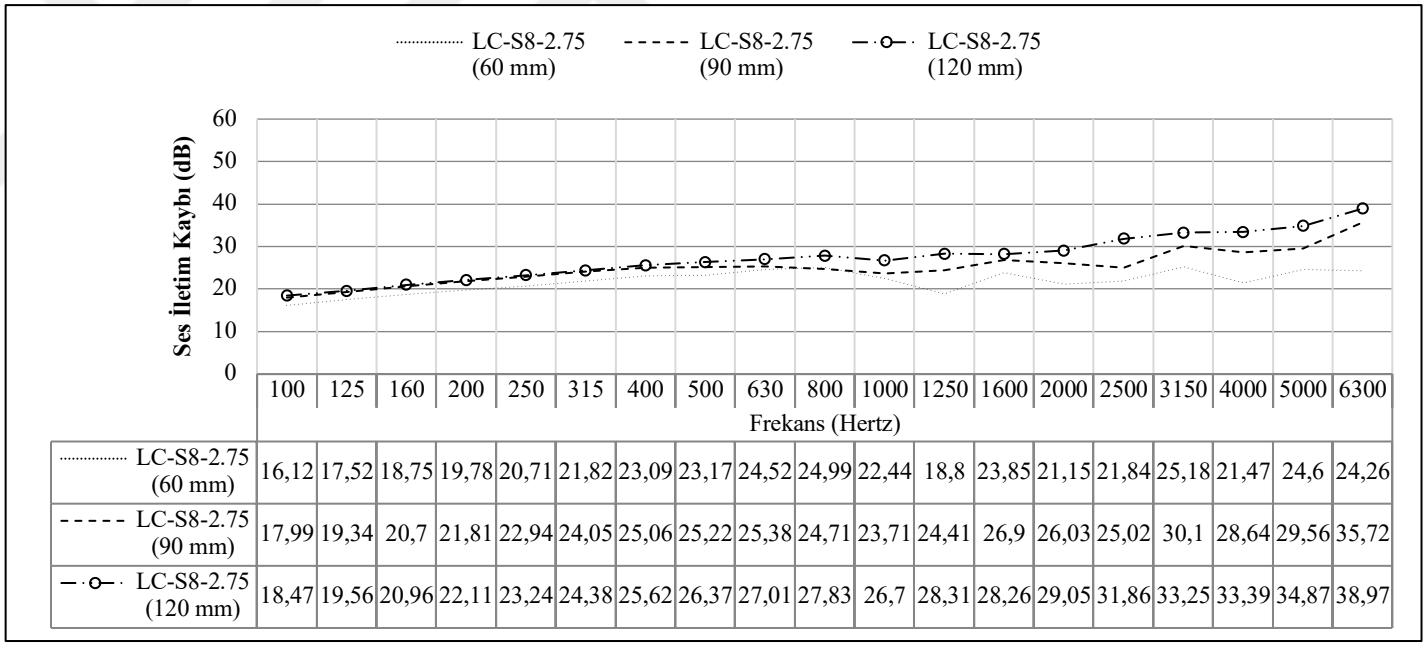
90 mm'lik harçların karşılaştırmasında olduğu gibi, düşük frekanslarda rijitlik ve sönümleme, STL değerini etkilediği için harçların elastiklik modülü ve porozite değerleri karşılaştırılabilir. 2 mm dere kumlu harcın farklı frekanslardaki STL değeri 27.96 dB ile 30.25 dB arasında değişmektedir. 8 mm dere kumlu harcın STL değeri, farklı frekanslarda 18.47 dB ila 38.97 dB arasında değişmektedir. Düşük frekans aralığında (100–315 Hz), 90 mm'lik harçlarla benzer nedenlerle 2 mm dere kumlu harç daha yüksek STL değeri göstermiştir. Orta frekans aralığında, malzemenin kütlesi etkilidir. Her iki harcın orta frekans aralığındaki (315–1600 Hz) kütleleri birbirlerine yakındır. Bu nedenle harçlar orta frekans aralığında yine 90 mm'lik harçlarda olduğu gibi yakın performans göstermişlerdir. Yüksek frekans aralığında (1600–6300 Hz), malzemenin rijitliği ve kütlesi birlikte etkilidir. 2 mm dere kumlu harca göre daha yüksek kütleye ve elastiklik modülüne sahip olan 8 mm dere kumlu harcın ses iletim kaybı değerinin de bu frekans aralığında arttığı görülmektedir. Yayınık gelen ses formülüyle hesaplanan numunelere ait rezonans frekansı ve kritik frekanslar Şekil 4.20'ye işlenmiştir. 120 mm kalınlığındaki S2 ve S8 harçlarının rezonans frekansları 64 Hz ve 71 Hz olarak hesaplanmıştır. Bu frekanslar da ölçüm frekans aralığının dışında kalmaktadır. Harçların aynı sırayla hesaplanan kritik frekans değerlerine (174 Hz ve 158 Hz) bakıldığında bu noktalarda, STL değerinde bir düşüş gözlenmemiştir.



Şekil 4.20: 2 mm ve 8 mm dere kumu agregalarıyla hazırlanmış numunelerin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları (120 mm).

- Kalınlık artışının numunenin ses iletim kaybı değerine etkisi

Bağlayıcı türünün (LC^3 ve PC) harcın ses iletim kaybı değerine etkisinin incelendiği bir önceki bölümde LC-S2-2.75 numunesi artan kalınlık bağlamında irdelenmiştir. Benzer yorumların yapılabileceği LC-S8-2.75 numunesinde artan kalınlığın tüm frekanslardaki akustik performansı artırabileceği sonucu çıkarılabilir (Şekil 4.21).



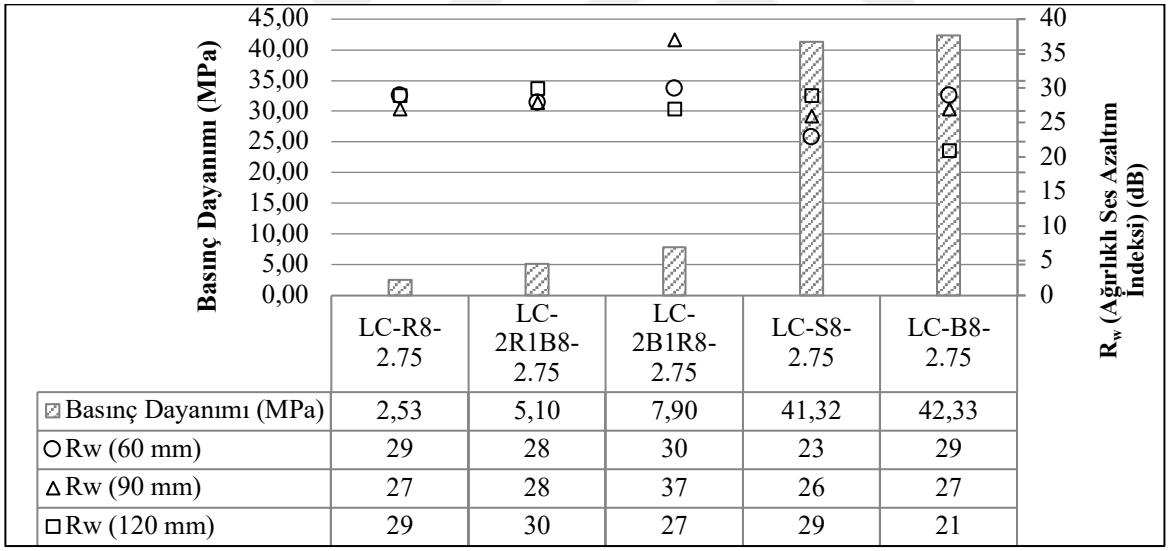
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300
LC-S8-2.75 (60 mm)	16,12	17,52	18,75	19,78	20,71	21,82	23,09	23,17	24,52	24,99	22,44	18,8	23,85	21,15	21,84	25,18	21,47	24,6	24,26
LC-S8-2.75 (90 mm)	17,99	19,34	20,7	21,81	22,94	24,05	25,06	25,22	25,38	24,71	23,71	24,41	26,9	26,03	25,02	30,1	28,64	29,56	35,72
LC-S8-2.75 (120 mm)	18,47	19,56	20,96	22,11	23,24	24,38	25,62	26,37	27,01	27,83	26,7	28,31	28,26	29,05	31,86	33,25	33,39	34,87	38,97

Şekil 4.21: Farklı kalınlıklarda (60-90-120 mm) 8 mm'lik dere kumu agregalarıyla hazırlanmış numunelerin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları.

4.2.3.2 Agrega cinsinin LC^3 harcının ses iletim kaybı üzerindeki etkisi

Çizelge 4.11: Farklı kalınlıktaki numunelere (60-90-120 mm) ait kütle, birim yüzey kütlesi, rezonans frekansı f_{11} (Hz) ve kritik frekans f_c (Hz) verileri.

	98 mm (g, g/cm^2)	28mm (g, g/cm^2)	f_{11} (Hz)	f_c (Hz)
LC-S8-2.75 (60 mm)	916.82, 12.17	66.94 , 10.88	35.5	317.75
LC-S8-2.75 (90 mm)	1377.29 , 18.26	102.78 , 16.71	53.38	211.84
LC-S8-2.75 (120 mm)	1840.56 , 24.41	138.63 , 22.54	71.73	158.88
LC-B8-2.75 (60 mm)	1300.38 , 17.24	104.42 , 16.97	32.51	356.58
LC-B8-2.75 (90 mm)	1958.54 , 25.97	150.6 , 24.48	48.77	237.72
LC-B8-2.75 (120 mm)	2635.65 , 34.96	204.88 , 33.31	65.03	178.29
LC-R8-2.75 (60 mm)	496.30 , 6.58	31.15 , 5.06	13.26	1040.31
LC-R8-2.75 (90 mm)	754.22 , 10.00	47.12 , 7.66	19.89	693.53
LC-R8-2.75 (120 mm)	1005.29 , 13.33	62.33 , 10.13	26.52	520.15
LC-2R1B8-2.75 (60 mm)	780.33 , 10.35	40.46 , 6.57	9.4	1196.68
LC-2R1B8-2.75 (90 mm)	1175.36, 15.59	73.22 , 11.90	14.11	797.79
LC-2R1B8-2.75 (120 mm)	1559.83 , 20.69	101.46 , 16.49	18.81	598.34
LC-2B1R8-2.75 (60 mm)	1038.91 , 13.78	64.78 , 10.53	11.22	982.22
LC-2B1R8-2.75 (90 mm)	1552.7 , 20.59	96.07 , 15.62	16.83	654.81
LC-2B1R8-2.75 (120 mm)	2050.91 , 27.20	133.95 , 21.78	22.44	491.11



Şekil 4.22: Kum, barit, kauçuk ve barit-kauçuk agregalarıyla oluşturulmuş numunelerin basınç dayanımı ve kalınlığa bağlı ağırlıklı ses azaltım indeksleri.

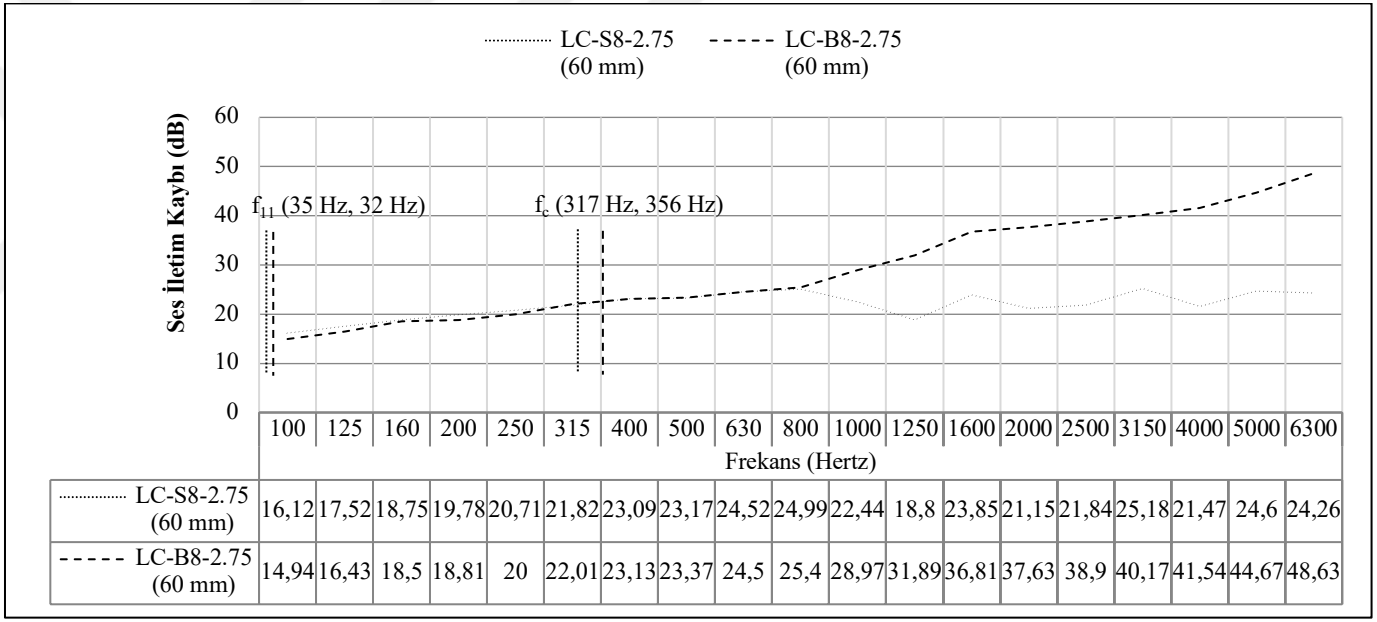
Barit agregasının etkisi

Farklı kalınlıklardaki harçlara ait kütle, birim yüzey kütlesi, rezonans frekansı ve kritik frekans verileri Çizelge 4.11'de mevcuttur. LC^3 harcında kum agregasının barit agregası ile değişimi B8 harcında daha dolu bir yapı elde edilmesini ve 1.02 kat daha yüksek basınç dayanımı değeri elde edilmesini sağlamışsa da sonuçlar birbirleriyle neredeyse aynıdır denilebilir (S8: 41.32 MPa, B8: 42.33 MPa). Daha ağır agrega ile

oluşturulmuş B8 harcının R_w değeri S8 harcından 60 mm'de 1.26 kat daha yüksek değer almıştır. B8 harcının R_w değeri 90 mm'de 1,03 kat artmış, 120 mm'de 0.72 kat azalmıştır. B8 harcında artan kalınlık ve yüzey yoğunluğu beklenilenin aksine özellikle 120 mm kalınlığında R_w değerini düşürmüştür. Bu durumun nedeninin, barit agregasının sertlik/rijitlik kontrolünü sağlamada yeterli olmadığı düşünülmektedir (Şekil 4.22).

- 60 mm kalınlığındaki numunelerin ses iletim kaybı

Düşük frekans aralığında etkili parametreler malzemenin sönümlemesi ve rijitliğidir. Bu iki harçtan barit agregası ile hazırlanmış harcın elastiklik modülü ve yüzey yoğunluğu, dere kumu ile hazırlanmış harçtan daha fazladır. Kum harcının 1/3 oktav bandındaki frekanslarda STL değerleri 16.12 ile 24.26 dB arasında değişmektedir. Barit harcının STL değerleri 1/3 oktav bandındaki frekanslarda 14.94 ile 48.63 dB arasında değişmektedir. Düşük ve orta frekans aralığında, özellikle 1000 Hz'e kadar dere kumlu harcın STL değerleri baritli harçla çok yakın sonuçlar vermiştir. Yüksek frekanslarda malzemenin rijitliği, kalınlığı ve ağırlığı birlikte etkilidir. Dere kumlu harçta porozite oranının, baritli harca nazaran daha fazla olduğu fiziksel deneyler sonucunda görülmüştür (LC-S8-2.75: %15.3 > LC-B8-2.75: %12.54). Baritli harcın yüzey yoğunluğu kumlu harca göre daha yüksek olduğu için (Çizelge 4.10), baritli harcın STL değeri 1000 Hz'den sonra daha yüksek bulunmuştur (6300 Hz frekansında 24.37 dB fark). Ağır barit agregalı harcın kütlesinin ve elastiklik modülünün yüksek olması nedeniyle orta ve yüksek frekanslarda daha iyi performans gösterdiği görülmektedir. Yayınık gelen ses formülüyle hesaplanan numunelere ait rezonans frekansı ve kritik frekanslar Şekil 4.23'e işlenmiştir. 60 mm kalınlığındaki S8 ve B8 harçlarının sırasıyla rezonans frekansları 35 Hz ve 32 Hz olarak hesaplanmıştır. Bu frekanslar da ölçüm frekans aralığının dışında kalmaktadır. Harçların aynı sırayla hesaplanan kritik frekans değerlerine bakıldığında (317 Hz ve 356 Hz) bu noktalarda kritik frekanslardan sonra, STL değerinde bir belli bir düşüş gözlenmemiştir.

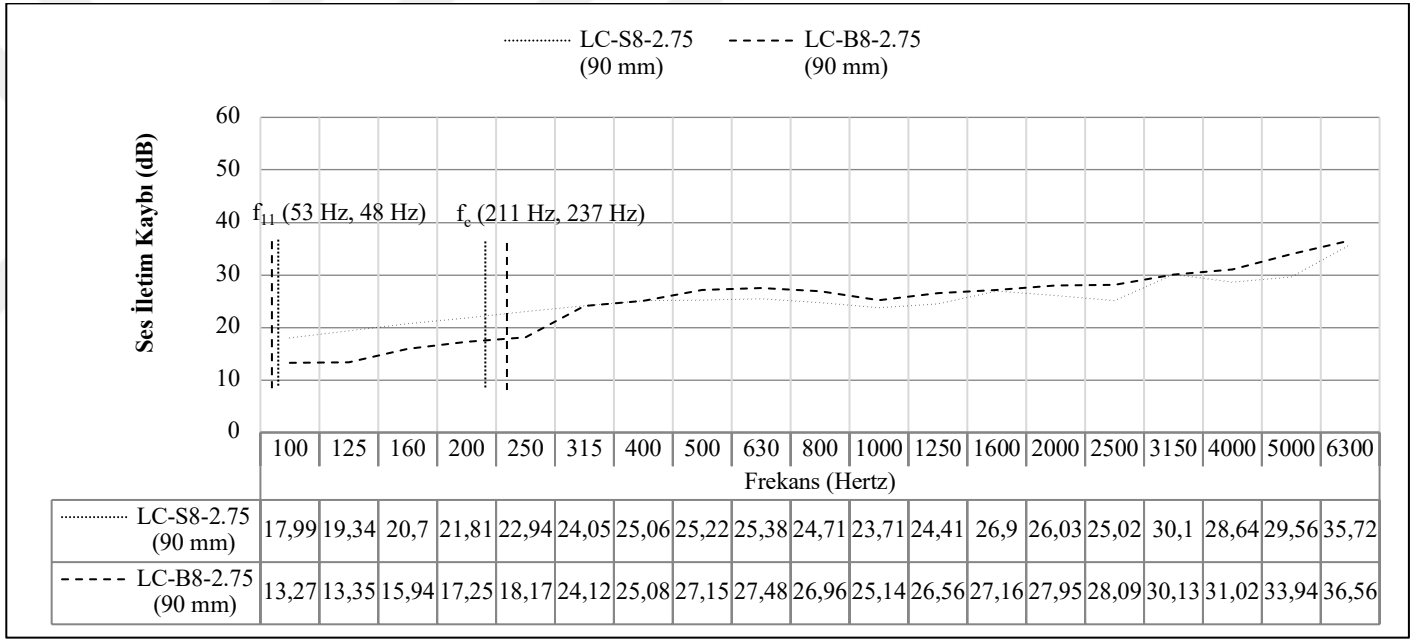


	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300
LC-S8-2.75 (60 mm)	16,12	17,52	18,75	19,78	20,71	21,82	23,09	23,17	24,52	24,99	22,44	18,8	23,85	21,15	21,84	25,18	21,47	24,6	24,26
LC-B8-2.75 (60 mm)	14,94	16,43	18,5	18,81	20	22,01	23,13	23,37	24,5	25,4	28,97	31,89	36,81	37,63	38,9	40,17	41,54	44,67	48,63

Şekil 4.23: Dere kumu ve barit agregalarıyla hazırlanmış numunelerin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları (60 mm).

- 90 mm kalınlığındaki numunelerin ses iletim kaybı

Barit agregası ile üretilen harçların yüzey yoğunluğu, dere kumu ile üretilen harçlara göre daha yüksektir (Çizelge 4.11). Düşük frekanslarda rijitlik ve sönümleme, STL değerini etkilediği için harçların elastiklik modülü ve porozite değerleri karşılaştırılabilir. Dere kumlu harcın farklı frekanslardaki STL değeri 17.99 dB ile 35.72 dB arasında değişmektedir. Barit agregalı harcın STL değeri, farklı frekanslarda 13.27 dB ila 36.56 dB arasında değişmektedir. Barit agregalı harcın elastiklik modülü, dere kumlu harca göre daha yüksektir, ancak dere kumlu harç daha yüksek gözenekliliğe ve daha küçük gözenek boyutuna sahiptir (kapilarite katsayısı; LC-S8: 0,037> LC-B8: 0,031). Bu nedenle düşük frekans aralığında (100–315 Hz) dere kumlu harç daha yüksek STL değeri göstermiştir (en fazla 6 dB artış). Orta frekans aralığında, malzemenin kütlesi etkilidir. Barit agregasının kütlesi, dere kumlu harçtan yüksek olmasına rağmen, her iki harcın orta frekans aralığındaki (315–1600 Hz) STL değerleri birbirlerine yakındır. Yüksek frekans aralığında (1600–6300 Hz), malzemenin rijitliği ve kütlesi birlikte etkilidir. Dere kumlu harca göre daha yüksek kütleye ve elastiklik modülüne sahip olan barit agregalı harcın ses iletim kaybı değerinin de bu frekans aralığında arttığı görülmektedir. Ağır barit agregalı harcın kütlesinin ve elastiklik modülünün yüksek olması nedeniyle orta ve yüksek frekanslarda daha iyi performans gösterdiği görülmektedir. Yayınık gelen ses formülüyle hesaplanan numunelere ait rezonans frekansı ve kritik frekanslar Şekil 4.24'e işlenmiştir. 90 mm kalınlığındaki S8 ve B8 harçların sırasıyla rezonans frekansları 53 Hz ve 48 Hz olarak hesaplanmıştır. Bu frekanslar da ölçüm frekans aralığının dışında kalmaktadır. Harçların aynı sırayla hesaplanan kritik frekans değerlerine (211 Hz ve 237 Hz) bakıldığında bu noktalarda, STL değerinde bir düşüş gözlenmemiştir.

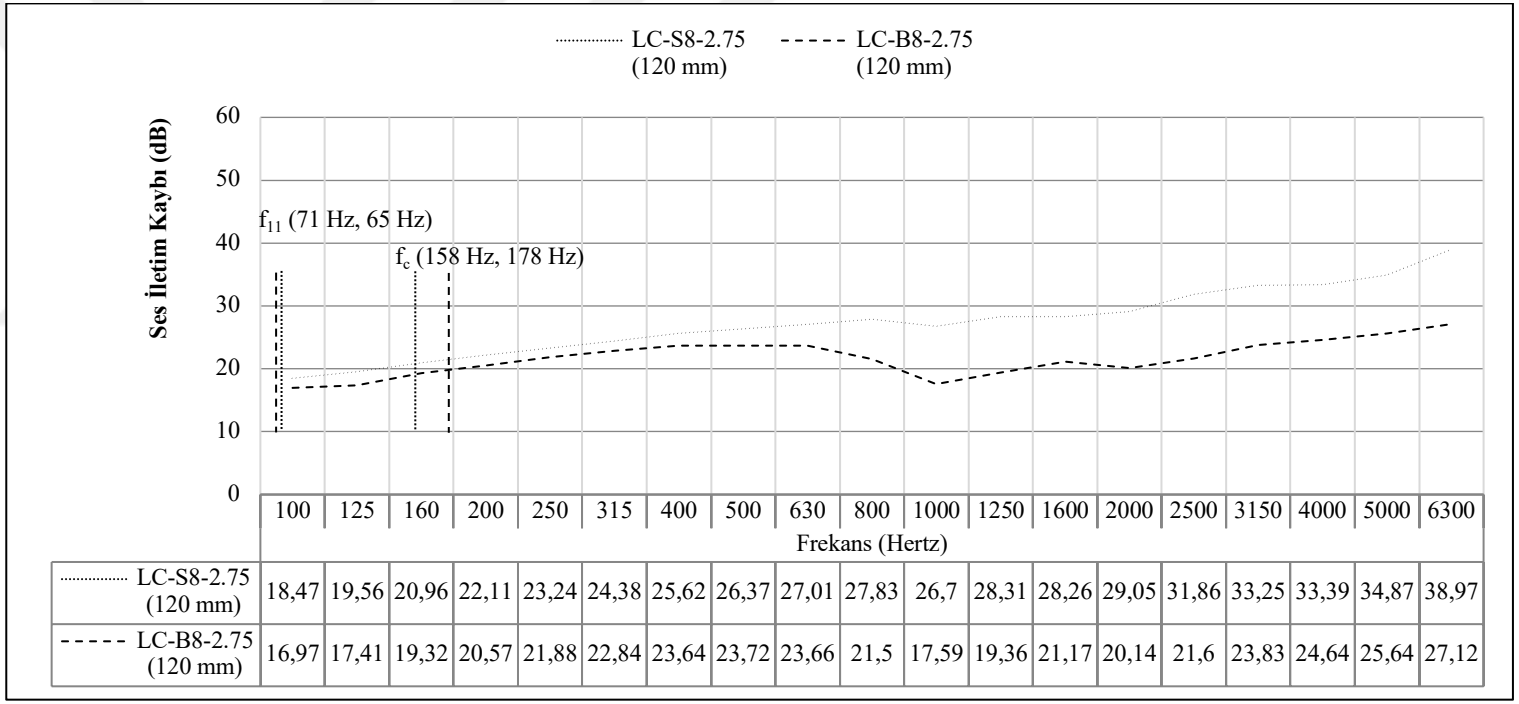


	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300
LC-S8-2.75 (90 mm)	17,99	19,34	20,7	21,81	22,94	24,05	25,06	25,22	25,38	24,71	23,71	24,41	26,9	26,03	25,02	30,1	28,64	29,56	35,72
LC-B8-2.75 (90 mm)	13,27	13,35	15,94	17,25	18,17	24,12	25,08	27,15	27,48	26,96	25,14	26,56	27,16	27,95	28,09	30,13	31,02	33,94	36,56

Şekil 4.24: Dere kumu ve barit agregalarıyla hazırlanmış numunelerin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları (90 mm).

- 120 mm kalınlığındaki numunelerin ses iletim kaybı

90 mm'lik harçların karşılaştırmasında olduğu gibi, düşük frekanslarda rijitlik ve sönümleme, STL değerini etkilediği için harçların elastiklik modülü ve porozite değerleri karşılaştırılabilir. Dere kumlu harcın STL değeri, farklı frekanslarda 18.47 dB ila 38.97 dB arasında değişmektedir. Barit agregalı harcın STL değeri, farklı frekanslarda 16.97 dB ila 37.12 dB arasında değişmektedir. Düşük frekans aralığında (100–315 Hz), 90 mm'lik harçlarla benzer nedenlerle dere kumlu harç daha yüksek STL değeri göstermiştir. Orta frekans aralığında, malzemenin kütlesi etkilidir. Barit agregalı harç, dere kumu harcından daha yüksek bir elastiklik modülüne ve kütleye sahip olmasına rağmen, dere kumu harcında artan gözeneklilik ve kapilarite katsayısı, ses yutucululuğunu artırmıştır. Özellikle 500 Hz'den sonra aradaki fark daha belirgin hale gelmiştir. Barit agregalı harçta artan yüzey yoğunluğuna rağmen ses iletim kaybının artmaması baritin tek başına rijitlik kontrolünü sağlayamadığını göstermektedir. Yayınık gelen ses formülüyle hesaplanan numunelere ait rezonans frekansı ve kritik frekanslar Şekil 4.25'e işlenmiştir. 120 mm kalınlığındaki S8 ve B8 harçlarının sırasıyla rezonans frekansları 71 Hz ve 65 Hz olarak hesaplanmıştır. Bu frekanslar da ölçüm frekans aralığının dışında kalmaktadır. Harçların aynı sırayla hesaplanan kritik frekans değerlerine (158 Hz ve 178 Hz) bakıldığında bu noktalarda, STL değerinde bir düşüş gözlenmemiştir.

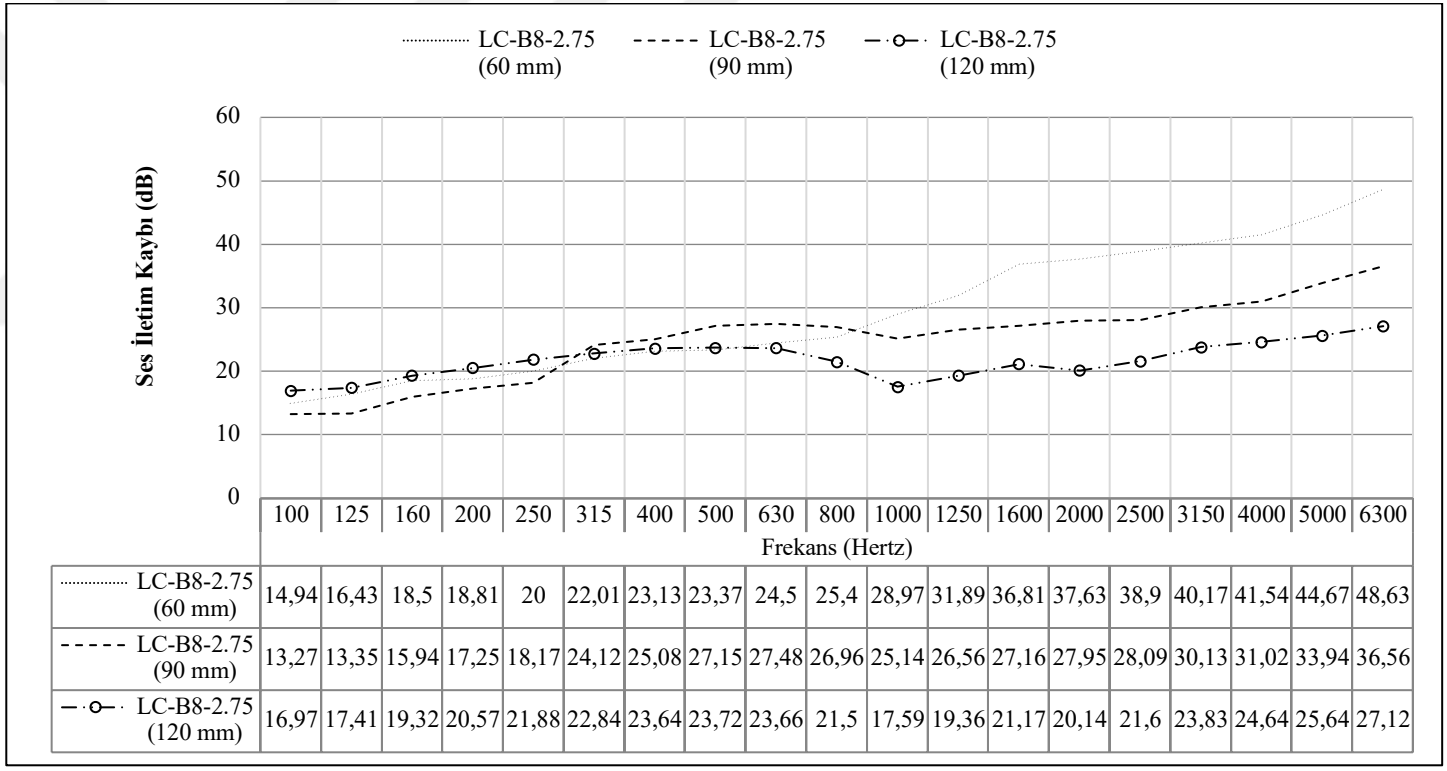


	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300
LC-S8-2.75 (120 mm)	18,47	19,56	20,96	22,11	23,24	24,38	25,62	26,37	27,01	27,83	26,7	28,31	28,26	29,05	31,86	33,25	33,39	34,87	38,97
LC-B8-2.75 (120 mm)	16,97	17,41	19,32	20,57	21,88	22,84	23,64	23,72	23,66	21,5	17,59	19,36	21,17	20,14	21,6	23,83	24,64	25,64	27,12

Şekil 4.25: Dere kumu ve barit agregalarıyla hazırlanmış numunelerin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları (120 mm).

- Kalınlık artışının numunenin ses iletim kaybı değerine etkisi

Agrega dane boyutunun (S2 ve S8) harcın ses iletim kaybı değerine etkisinin incelendiği bir önceki bölümde LC-S8-2.75 numunesi artan kalınlık bağlamında irdelenmiştir (Şekil 4.26). LC-B8-2.75 numunesi artan kalınlık bağlamında incelendiğinde 500 Hz'e kadar yakın ses iletim kaybı değeri gözlenen harçlarda, özellikle 500 Hz'den sonra artan kalınlık, beklenilenin aksine malzemenin ses iletim kaybı değerini giderek düşürmüştür. Bu durum PC-S2 ve LC-S2 numunelerinde artan kalınlığa rağmen ses iletim kaybı değerinin artmaması sonucuyla benzerdir. Belirli bir kalınlığın üzerinde sonuçların iyileşmeyeceği kritik bir kalınlığın olduğu varsayımı burada da geçerlidir.



	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300
LC-B8-2.75 (60 mm)	14,94	16,43	18,5	18,81	20	22,01	23,13	23,37	24,5	25,4	28,97	31,89	36,81	37,63	38,9	40,17	41,54	44,67	48,63
LC-B8-2.75 (90 mm)	13,27	13,35	15,94	17,25	18,17	24,12	25,08	27,15	27,48	26,96	25,14	26,56	27,16	27,95	28,09	30,13	31,02	33,94	36,56
LC-B8-2.75 (120 mm)	16,97	17,41	19,32	20,57	21,88	22,84	23,64	23,72	23,66	21,5	17,59	19,36	21,17	20,14	21,6	23,83	24,64	25,64	27,12

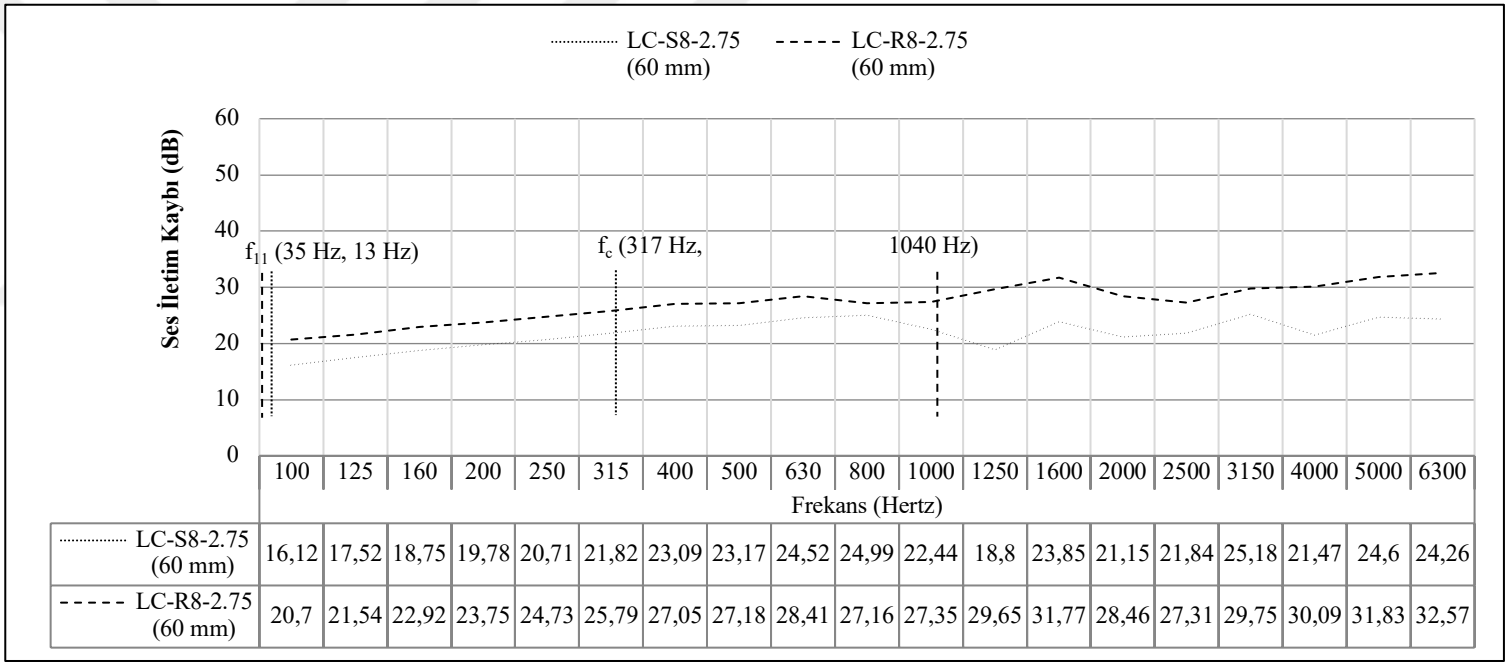
Şekil 4.26: Farklı kalınlıklarda (60-90-120 mm) barit agregasıyla hazırlanmış numunelerin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları.

Kauçuk agregasının etkisi

Farklı kalınlıklardaki harçlara ait kütle, rezonans frekansı ve kritik frekans verileri Çizelge 4.11'de mevcuttur. LC^3 harcında kum agregasının kauçuk agregası ile değişimi R8 harcında daha poroz bir yapı elde edilmesini ve 0,06 kat daha düşük basınç mukavemeti değeri elde edilmesini sağlamıştır. R8 harcı daha düşük yüzey yoğunluğuna sahip olmasına rağmen beklenilenin aksine 60 ve 90 mm'de R_w değeri S8 harcına nazaran sırasıyla 1.26 ve 1.03 kat artmış, 120 mm'de eşit R_w değeri elde edilmiştir (Şekil 4.22). Hong ve diğerlerinin (2007) çalışmasına göre viskoz etkisi ve sürtünmeler kauçuk agregası eklentili kompozitlerde ses yutuculuğu açısından etkilidir. Sönümlemeye önemli katkısı olan kauçuk agregalı R8 harcında daha yüksek R_w değeri elde edilmesi bu şekilde açıklanabilir.

- 60 mm kalınlığındaki numunelerin ses iletim kaybı

Düşük frekans aralığında etkili parametreler malzemenin sönümlemesi ve rijitliğidir. Bu iki harçtan dere kumu agregası ile hazırlanmış harcın elastiklik modülü ve yüzey yoğunluğu, kauçuk agregası ile hazırlanmış harçtan daha fazladır. Kum harcının 1/3 oktav bandındaki frekanslarda STL değerleri 16.12 ile 24.26 dB arasında değişmektedir. Kauçuk harcının STL değerleri 1/3 oktav bandındaki frekanslarda 20.7 ile 32.57 dB arasında değişmektedir. Dere kumu agregası ile üretilen harçların yüzey yoğunluğu, kauçuk agregası ile üretilen harçlara göre daha yüksek olmasına rağmen tüm frekans aralıklarında kauçuk agregalı harç, dere kumlu harçtan daha yüksek akustik performans göstermiştir (Şekil 4.27). Kauçuk agregalı harçta porozite oranının, dere kumlu harca nazaran daha fazla olduğu fiziksel deneyler sonucunda görülmüştür (LC-R8: %20.47 > LC-S8: %15.3). Kauçuk agregalı harçların artan gözenekliliği ve kapilarite katsayısı, STL değerini etkileyen ses yutuculuk değerinin artmasına neden olmuştur. Özellikle 1250 Hz'de aralarındaki fark 9 dB'e kadar çıkmıştır. Yayınık gelen ses formülüyle hesaplanan numunelere ait rezonans frekansı ve kritik frekanslar Şekil 4.27'ye işlenmiştir. 60 mm kalınlığındaki S8 ve R8 harçlarının sırasıyla rezonans frekansları 35 Hz ve 13 Hz olarak hesaplanmıştır. Bu frekanslar da ölçüm frekans aralığının dışında kalmaktadır. Harçların aynı sırayla hesaplanan kritik frekans değerlerine bakıldığında (317 Hz ve 1040 Hz), dere kumu agregasının kritik frekansı (317 Hz) STL değerinde bir değişikliğe neden olmamışsa da kauçuk agregasının kritik frekansı (1040 Hz) eğride kırılmaya neden olmuştur.

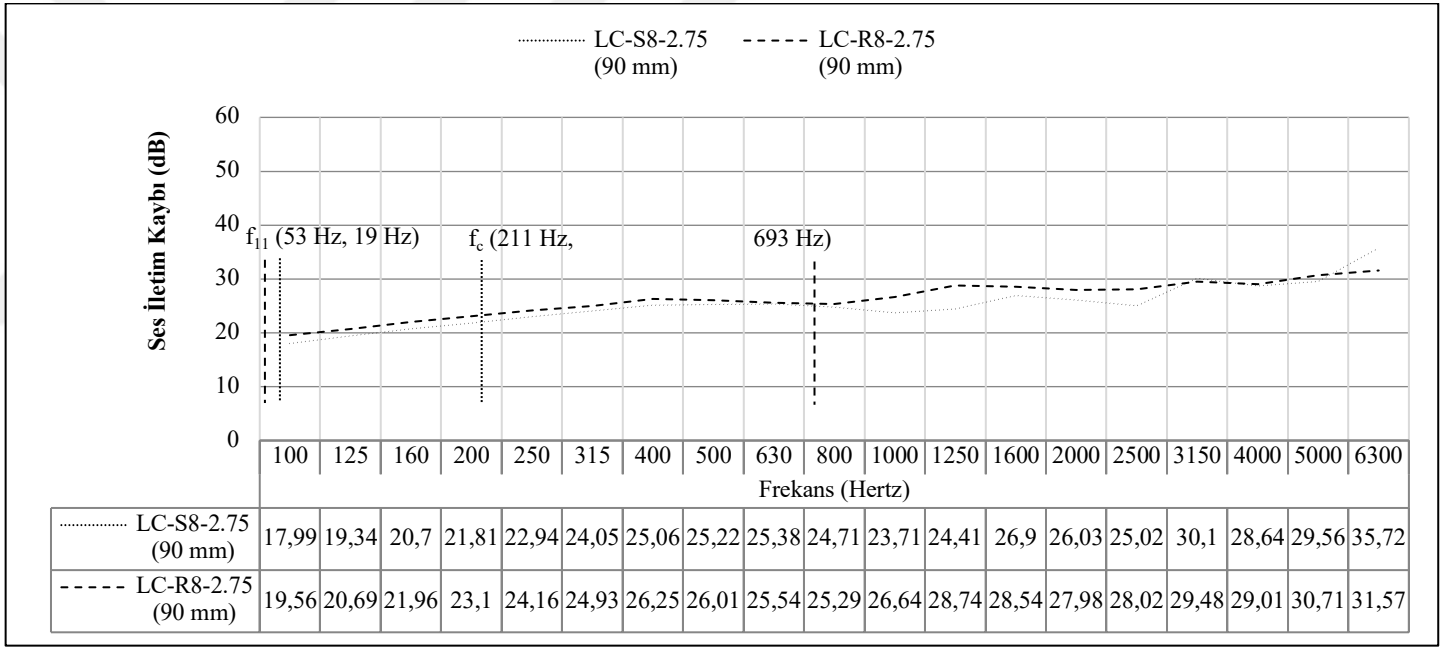


	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300
LC-S8-2.75 (60 mm)	16,12	17,52	18,75	19,78	20,71	21,82	23,09	23,17	24,52	24,99	22,44	18,8	23,85	21,15	21,84	25,18	21,47	24,6	24,26
LC-R8-2.75 (60 mm)	20,7	21,54	22,92	23,75	24,73	25,79	27,05	27,18	28,41	27,16	27,35	29,65	31,77	28,46	27,31	29,75	30,09	31,83	32,57

Şekil 4.27: Dere kumu ve kauçuk agregalarıyla hazırlanmış numunelerin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları (60 mm).

- 90 mm kalınlığındaki numunelerin ses iletim kaybı

Dere kumlu harcın farklı frekanslardaki STL değeri 17.99 dB ile 35.72dB arasında değişmektedir. Kauçuk agregalı harcın STL değeri, farklı frekanslarda 19.56 dB ila 31.57 dB arasında değişmektedir. Kauçuk agregalı harcın porozitesi ve kapilarite katsayısı dere kumlu harca göre daha yüksektir ve kauçuklu harç daha küçük gözenek boyutuna sahiptir (kapilarite katsayısı; LC-R8: 0.081> LC-S8: 0.037). Bu nedenle düşük frekans aralığında (100–315 Hz) kauçuk agregalı harçların artan gözenekliliği ve kapilarite katsayısı, STL değerini etkileyen ses yutuculuk değerinin artmasına neden olmuştur. Orta frekans aralığında, malzemenin kütlesi etkilidir. Dere kumu agregasının kütlesi, kauçuklu harçtan yüksek olmasına rağmen, her iki harcın orta frekans aralığındaki (315–1600 Hz) STL değerleri birbirlerine yakındır. Yüksek frekans aralığında (1600–6300 Hz) kauçuklu harç 3150 Hz'e kadar daha yüksek ses iletim kaybı değeri göstermekte, daha yüksek frekanslarda yakın değerler gözlenmektedir. Kauçuklu harcın elastiklik modülü dere kumlu harçtan daha düşük olmasına rağmen, kauçuklu harç sönümlemeyi etkileyen bir yapıya sahiptir. Dere kumlu harç kauçuklu harçtan daha ağır olmasına rağmen kauçuklu harcın sönümleme ve viskoz etkisi yüksek frekanslarda STL değerini artırmıştır. Yayınık gelen ses formülüyle hesaplanan numunelere ait rezonans frekansı ve kritik frekanslar Şekil 4.28'e işlenmiştir. 90 mm kalınlığındaki S8 ve R8 harçlarının sırasıyla rezonans frekansları 53 Hz ve 19 Hz olarak hesaplanmıştır. Bu frekanslar da ölçüm frekans aralığının dışında kalmaktadır. Harçların aynı sırayla hesaplanan kritik frekans değerlerine (211 Hz ve 693 Hz) bakıldığında kauçuklu harcın rezonans frekansı 693 Hz'den sonra belli bir düşüşe neden olmuştur.

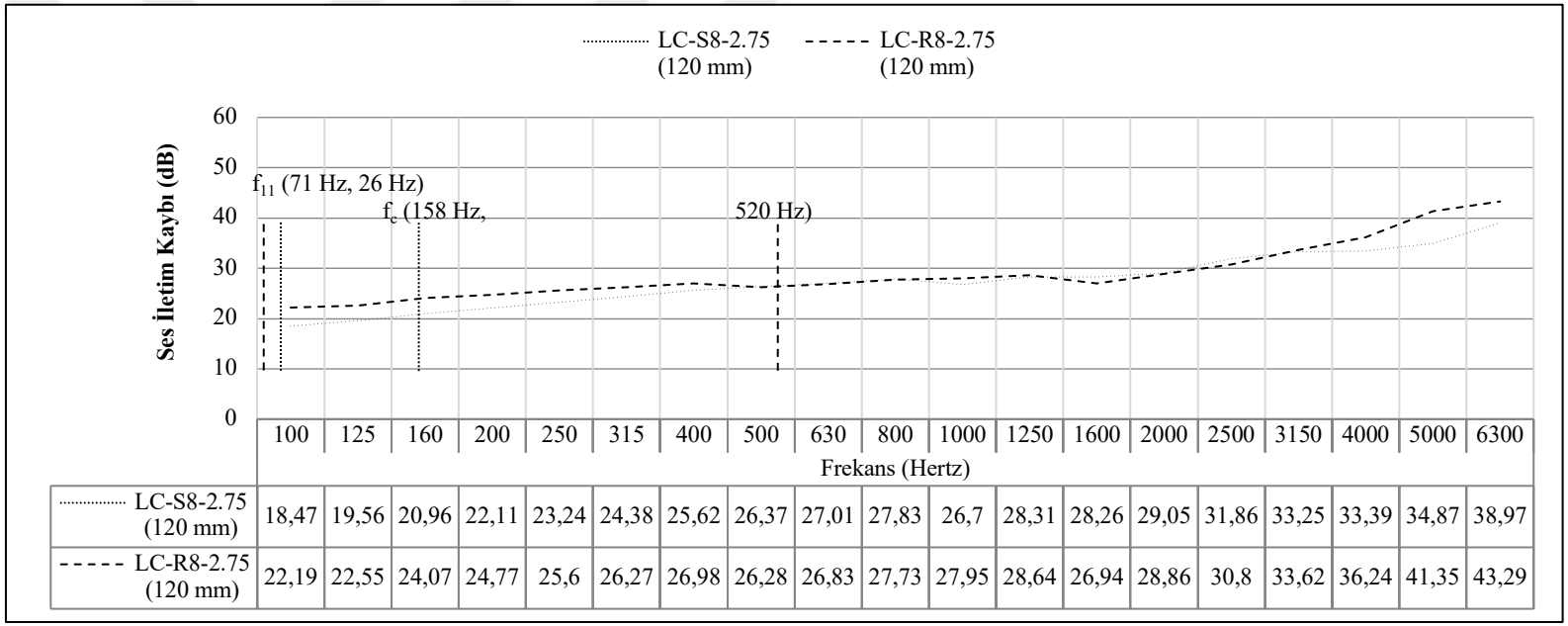


	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300
LC-S8-2.75 (90 mm)	17,99	19,34	20,7	21,81	22,94	24,05	25,06	25,22	25,38	24,71	23,71	24,41	26,9	26,03	25,02	30,1	28,64	29,56	35,72
LC-R8-2.75 (90 mm)	19,56	20,69	21,96	23,1	24,16	24,93	26,25	26,01	25,54	25,29	26,64	28,74	28,54	27,98	28,02	29,48	29,01	30,71	31,57

Şekil 4.28: Dere kumu ve kauçuk agregalarıyla hazırlanmış numunelerin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları (90 mm).

- 120 mm kalınlığındaki numunelerin ses iletim kaybı

90 mm'lik harçların karşılaştırmasında olduğu gibi, düşük frekanslarda rijitlik ve sönümleme, STL değerini etkilediği için harçların elastiklik modülü ve porozite değerleri karşılaştırılabilir. Dere kumlu harcın STL değeri, farklı frekanslarda 18.47 dB ila 38.97 dB arasında değişmektedir. Kauçuk agregalı harcın STL değeri, farklı frekanslarda 22.19 dB ila 43.29 dB arasında değişmektedir. Düşük frekans aralığında (100–315 Hz), 90 mm'lik harçlarla benzer nedenlerle kauçuklu harç daha yüksek STL değeri göstermiştir. Orta frekans aralığında, malzemenin kütlesi etkilidir. Dere kumlu harç, kauçuk agregalı harçtan daha yüksek bir elastiklik modülüne ve kütleye sahip olmasına rağmen, kauçuk agregalı harçta artan gözeneklilik ve kapilarite katsayısı, ses yutuculuğunu artırmıştır. Yüksek frekanslarda özellikle 3150 Hz'den sonra kauçuk agregalı harcın STL değeri, dere kumlu harca nazaran artmıştır. 90 mm kalınlığında yapılan yorumlar 120 mm kalınlığında da geçerlidir denilebilir. Yayınık gelen ses formülüyle hesaplanan numunelere ait rezonans frekansı ve kritik frekanslar Şekil 4.29'a işlenmiştir. 120 mm kalınlığındaki S8 ve R8 harçlarının sırasıyla rezonans frekansları 71 Hz ve 26 Hz olarak hesaplanmıştır. Bu frekanslar da ölçüm frekans aralığının dışında kalmaktadır. Harçların aynı sırayla hesaplanan kritik frekans değerlerine (158 Hz ve 520 Hz) bakıldığında bu noktalarda, STL değerinde bir düşüş gözlenmemiştir.

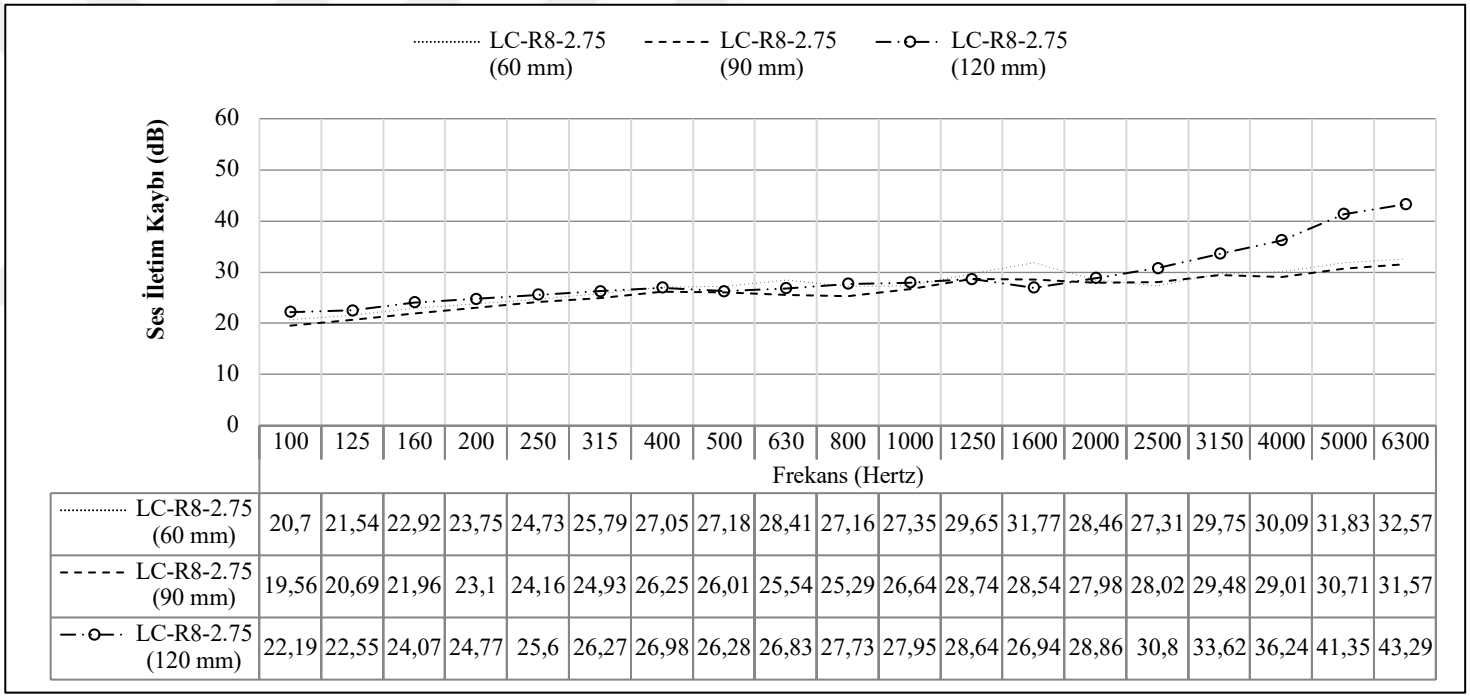


	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300
LC-S8-2.75 (120 mm)	18,47	19,56	20,96	22,11	23,24	24,38	25,62	26,37	27,01	27,83	26,7	28,31	28,26	29,05	31,86	33,25	33,39	34,87	38,97
LC-R8-2.75 (120 mm)	22,19	22,55	24,07	24,77	25,6	26,27	26,98	26,28	26,83	27,73	27,95	28,64	26,94	28,86	30,8	33,62	36,24	41,35	43,29

Şekil 4.29: Dere kumu ve kauçuk agregalarıyla hazırlanmış numunelerin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları (120 mm).

- Kalınlık artışının numunenin ses iletim kaybı değerine etkisi

Agrega dane boyutunun (S2 ve S8) harcın ses iletim kaybı değeri üzerindeki etkisinin incelendiği bir önceki bölümde LC-S8-2.75 numunesi artan kalınlık bağlamında irdelenmiştir (Şekil 4.30). LC-R8-1.23 numunesinde 2500 Hz'e kadar yakın STL değeri gözlenmiş, özellikle 2500 Hz'den sonra 120 mm kalınlığında giderek artış göstermiştir. Artan kalınlığa paralel olarak artan kütle malzemedeki STL değerlerinin artışını da beraberinde artırmıştır.



	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300
LC-R8-2.75 (60 mm)	20,7	21,54	22,92	23,75	24,73	25,79	27,05	27,18	28,41	27,16	27,35	29,65	31,77	28,46	27,31	29,75	30,09	31,83	32,57
LC-R8-2.75 (90 mm)	19,56	20,69	21,96	23,1	24,16	24,93	26,25	26,01	25,54	25,29	26,64	28,74	28,54	27,98	28,02	29,48	29,01	30,71	31,57
LC-R8-2.75 (120 mm)	22,19	22,55	24,07	24,77	25,6	26,27	26,98	26,28	26,83	27,73	27,95	28,64	26,94	28,86	30,8	33,62	36,24	41,35	43,29

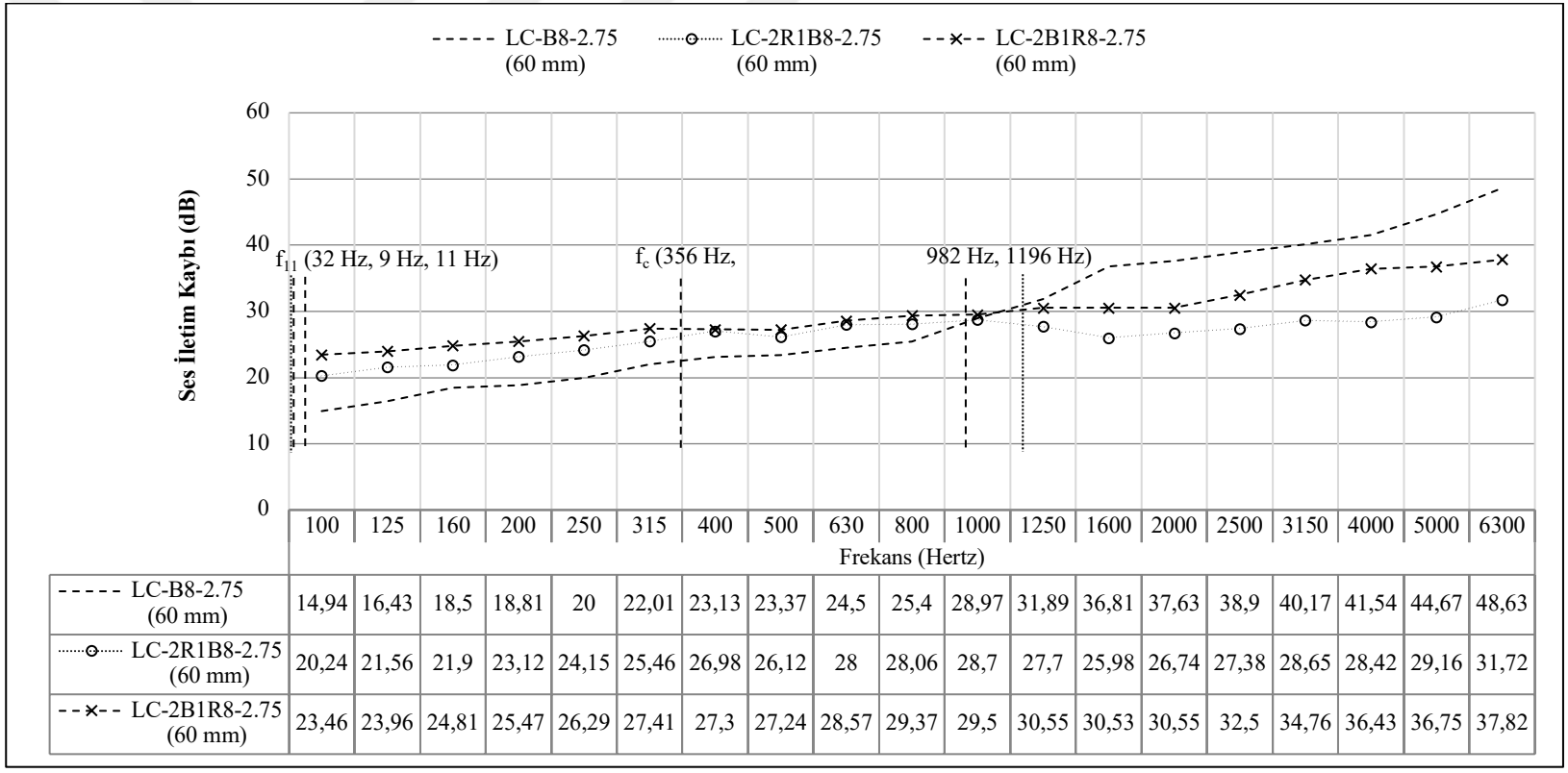
Şekil 4.30: Farklı kalınlıklarda (60-90-120 mm) kauçuk agregasıyla hazırlanmış numunelerin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları.

Barit ve kauçuk agregalarının etkisi

Farklı kalınlıklardaki harçlara ait kütle, rezonans frekansı ve kritik frekans verileri Çizelge 4.11'de mevcuttur. LC^3 harcında barit agregasının barit ve kauçuk birleşik agregaları (2B1R8 ve 2R1B8) ile değişiminin harcın akustik özelikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. B8 harcının 2B1R8 ve 2R1B8 harçları ile değişimi basınç mukavemetini sırasıyla 0.18 ve 0.12 kat düşürmüştür. Yine hipotez ile uyumlu olarak barit agregasının barit ve kauçuk bileşik agregaları ile değiştirilmesi harcın R_w değerini her iki harçta da 90 mm ve 120 mm kalınlıklarında yükseltmiş, 60 mm'de üç harçta da yakın değerler elde edilmiştir. Barit agregasının hacimce fazla olduğu 2B1R8 harcında 90 mm'de en yüksek R_w değeri elde edilmiştir. Ağır barit agregasının R_w değerini artırmada tek başına yeterli olmadığı görülmüştür (Şekil 4.22).

- 60 mm kalınlığındaki numunelerin ses iletim kaybı

Düşük frekans aralığında etkili parametreler malzemenin sönümlemesi ve rijitliğidir. Bu üç harçtan barit agregası ile hazırlanmış harcın elastiklik modülü ve yüzey yoğunluğu, 2B1R8 ve 2R1B8 harçlarına nazaran daha fazladır. Barit harcının STL değerleri 1/3 oktav bandındaki frekanslarda 14.94 ile 48.63 dB arasında değişmektedir. 2B1R8 harcının 1/3 oktav bandındaki frekanslarda STL değerleri 23.46 ile 37.82 dB arasında, 2R1B8 harcının 1/3 oktav bandındaki frekanslarda STL değerleri 20.24 ile 31.72 dB arasında değişmektedir. 1000 Hz'e kadar düşük ve orta frekanslarda 2B1R8 harcı en yüksek STL değerine sahiptir (Şekil 4.31). Yüksek frekanslarda malzemenin rijitliği, kalınlığı ve ağırlığı birlikte etkilidir. Barit agregalı harcın yüzey yoğunluğu barit ve kauçuk agregalı harçlara göre daha yüksek olduğu için (Çizelge 4.11), baritli harcın STL değeri 1000 Hz'den sonra daha yüksek bulunmuştur (6300 Hz frekansında 2B1R8 harcıyla 17 dB ve 2R1B8 harcıyla 11 dB fark). Ağır barit agregalı harcın kütlesinin ve elastiklik modülünün yüksek olması nedeniyle orta ve yüksek frekanslarda daha iyi performans gösterdiği görülmektedir. Yayınık gelen ses formülüyle hesaplanan numunelere ait rezonans frekansı ve kritik frekanslar Şekil 4.31'e işlenmiştir. 60 mm kalınlığındaki B8, 2R1B8 ve 2B1R8 harçlarının sırasıyla rezonans frekansları 32 Hz, 9 Hz ve 11 Hz olarak hesaplanmıştır. Bu frekanslar da ölçüm frekans aralığının dışında kalmaktadır. Harçların aynı sırayla hesaplanan kritik frekans değerlerine bakıldığında (356 Hz, 1196 Hz ve 982 Hz) bu noktalarda kritik frekanslardan sonra, 2R1B8 harcı hariç, STL değerinde bir belli bir düşüş gözlenmemiştir.

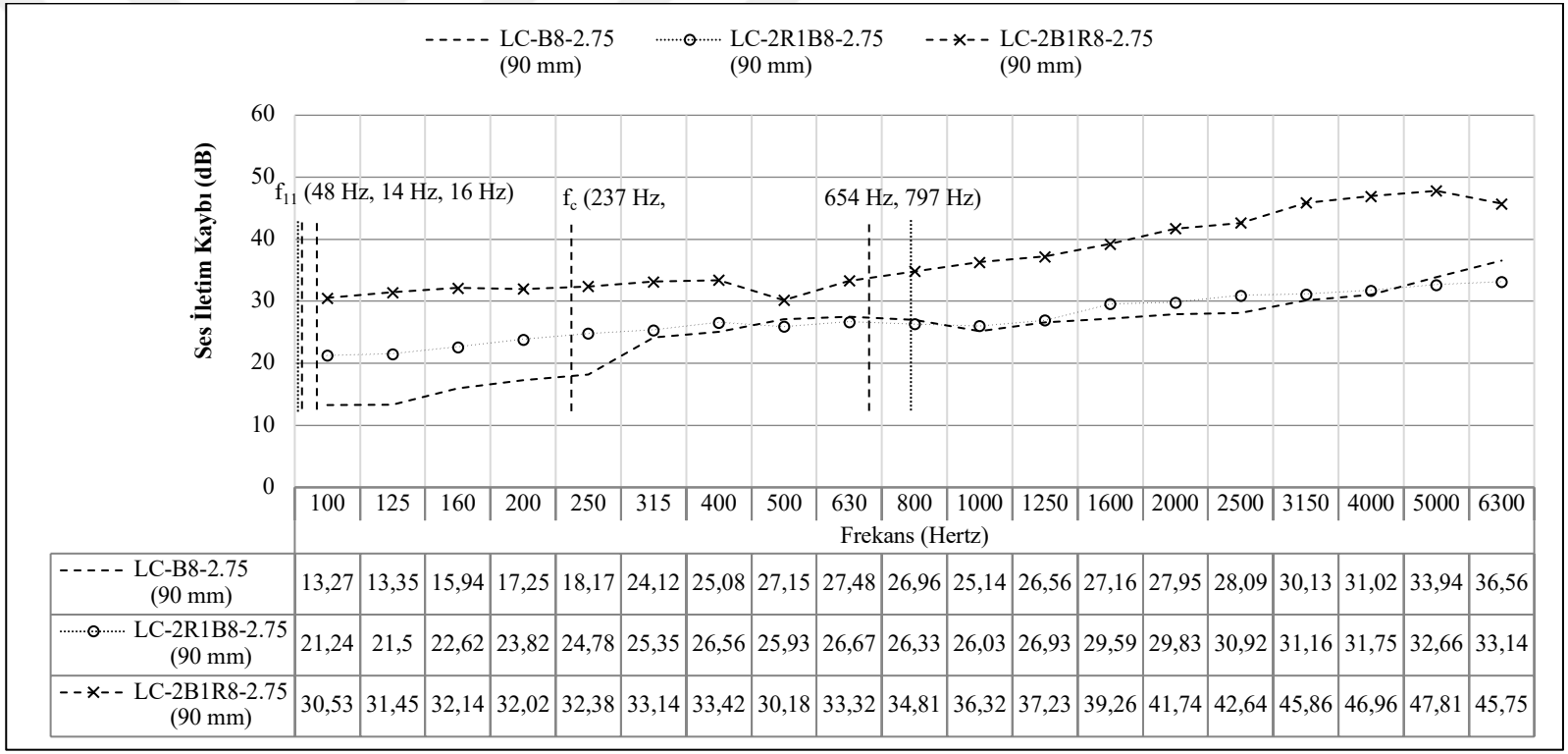


	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300
LC-B8-2.75 (60 mm)	14,94	16,43	18,5	18,81	20	22,01	23,13	23,37	24,5	25,4	28,97	31,89	36,81	37,63	38,9	40,17	41,54	44,67	48,63
LC-2R1B8-2.75 (60 mm)	20,24	21,56	21,9	23,12	24,15	25,46	26,98	26,12	28	28,06	28,7	27,7	25,98	26,74	27,38	28,65	28,42	29,16	31,72
LC-2B1R8-2.75 (60 mm)	23,46	23,96	24,81	25,47	26,29	27,41	27,3	27,24	28,57	29,37	29,5	30,55	30,53	30,55	32,5	34,76	36,43	36,75	37,82

Şekil 4.31: Barit agregasıyla ve barit ve kauçuk agregalarıyla hazırlanmış numunelerin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları (60 mm).

- 90 mm kalınlığındaki numunelerin ses iletim kaybı

Barit agregalı harcın farklı frekanslardaki STL değeri 13.27 dB ile 36.56 dB arasında değişmektedir. 2R1B8 harcının STL değeri, farklı frekanslarda 21.24 dB ila 33.14 dB arasında, 2B1R8 harcının STL değeri, 30.53 dB ila 45.75 dB arasında değişmektedir. Barit ve kauçuk agregalı harçların porozitesi ve kapilarite katsayıları baritli harca göre daha yüksektir ve her iki agrega türünün birlikte kullanıldığı harçlar daha küçük gözenek boyutuna sahiptirler (kapilarite katsayısı; LC-2R1B8: 0,062 > LC-2B1R8: 0,058> LC-B8: 0,031). Bu nedenle düşük frekans aralığında (100–315 Hz) barit ve kauçuk agregalı harçların artan gözenekliliği ve kapilarite katsayısı, STL değerini etkileyen ses yutuculuk değerinin artmasına neden olmuş ve baritli harçtan daha yüksek STL değeri elde dilmesini sağlamıştır. Orta (315–1600 Hz) ve yüksek frekans (1600–6300 Hz) aralığında B8 ve 2R1B8 harçlarında çok yakın STL değerleri elde edilmişse de düşük, orta ve yüksek frekanslarda 2B1R8 harcı en yüksek STL değerine sahiptir (Şekil 4.32). Barit agregalı harcın elastiklik modülü, barit ve kauçuk agregalı harçlardan daha yüksek olmasına rağmen, kauçuk eklentili harçlar sönümlemeyi etkileyen bir yapıya sahiptir. Barit agregasının hacimce daha fazla olduğu harçta (2B1R8), barit agregası harcın yüzey yoğunluğunu arttırırken, kauçuk agregası viskoz etki ve rijitlik kontrolü sağlayarak sönümlemeyi artırmıştır. Yayınık gelen ses formülüyle hesaplanan numunelere ait rezonans frekansı ve kritik frekanslar Şekil 4.32'ye işlenmiştir. 90 mm kalınlığındaki B8, 2R1B8 ve 2B1R8 harçlarının sırasıyla rezonans frekansları 48 Hz, 14 Hz ve 16 Hz olarak hesaplanmıştır. Bu frekanslar da ölçüm frekans aralığının dışında kalmaktadır. Harçların aynı sırayla hesaplanan kritik frekans değerlerine (237 Hz, 797 Hz ve 654 Hz) bakıldığında 2R1B8 harcının STL değeri rezonans frekansı olan 797 Hz'den sonra belli bir düşüşe neden olmuştur.

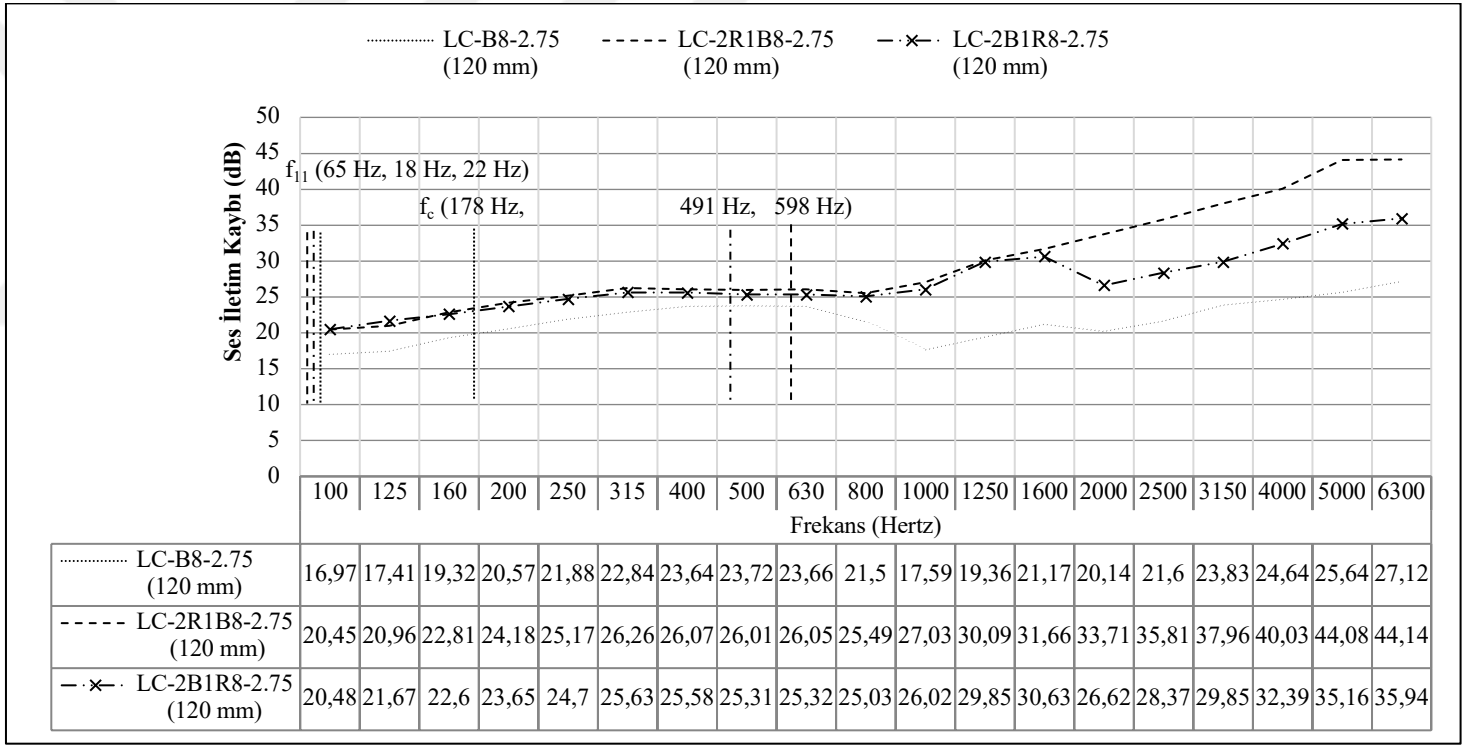


	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300
LC-B8-2.75 (90 mm)	13,27	13,35	15,94	17,25	18,17	24,12	25,08	27,15	27,48	26,96	25,14	26,56	27,16	27,95	28,09	30,13	31,02	33,94	36,56
LC-2R1B8-2.75 (90 mm)	21,24	21,5	22,62	23,82	24,78	25,35	26,56	25,93	26,67	26,33	26,03	26,93	29,59	29,83	30,92	31,16	31,75	32,66	33,14
LC-2B1R8-2.75 (90 mm)	30,53	31,45	32,14	32,02	32,38	33,14	33,42	30,18	33,32	34,81	36,32	37,23	39,26	41,74	42,64	45,86	46,96	47,81	45,75

Şekil 4.32: Barit agregasıyla ve barit ve kauçuk agregalarıyla hazırlanmış numunelerin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları (90 mm).

- 120 mm kalınlığındaki numunelerin ses iletim kaybı

Barit agregalı harcın STL değeri, farklı frekanslarda 16.97 ila 27.12 dB arasında değişmektedir. 2R1B8 harcının STL değeri, farklı frekanslarda 20.45 ile 44.14 dB arasında değişmektedir. 2B1R8 harcının farklı frekanslardaki STL değeri ise 20.48 ile 35.94 dB arasında değişmektedir. Barit agregası ile üretilen harçların yüzey yoğunluğu, barit ve kauçuk agregalarıyla üretilen harçlara göre daha yüksek bulunmuştur. Ancak düşük, orta ve yüksek frekanslarda 2B1R8 ve 2R1B8 harçlarının STL değeri salt barit agregalı harçtan daha yüksektir (Şekil 4.33). 90 mm kalınlığındaki başlıkta açıklandığı gibi, barit harcının elastiklik modülü diğer harç türlerine göre daha yüksek olmasına rağmen, barit ve kauçuk agregalı harçlar sönümlemeyi etkileyen daha gözenekli bir yapıya sahiptir. Bu nedenle salt barit agregasına göre barit ve kauçuk agregalı harçlar daha yüksek ses iletim kaybı değeri elde edilmesini sağlamıştır. Yayınık gelen ses formülüyle hesaplanan numunelere ait rezonans frekansı ve kritik frekanslar Şekil 4.33'e işlenmiştir. 120 mm kalınlığındaki B8, 2R1B8 ve 2B1R8 harçlarının sırasıyla rezonans frekansları 65 Hz, 18 Hz ve 22 Hz olarak hesaplanmıştır. Bu frekanslar da ölçüm frekans aralığının dışında kalmaktadır. Harçların aynı sırayla hesaplanan kritik frekans değerlerine (178 Hz, 598 Hz ve 491 Hz) bakıldığında baritli harcın STL değerinde bir düşüş görülmezken barit ve kauçuk agregalı harçlarda azalma olmuştur.

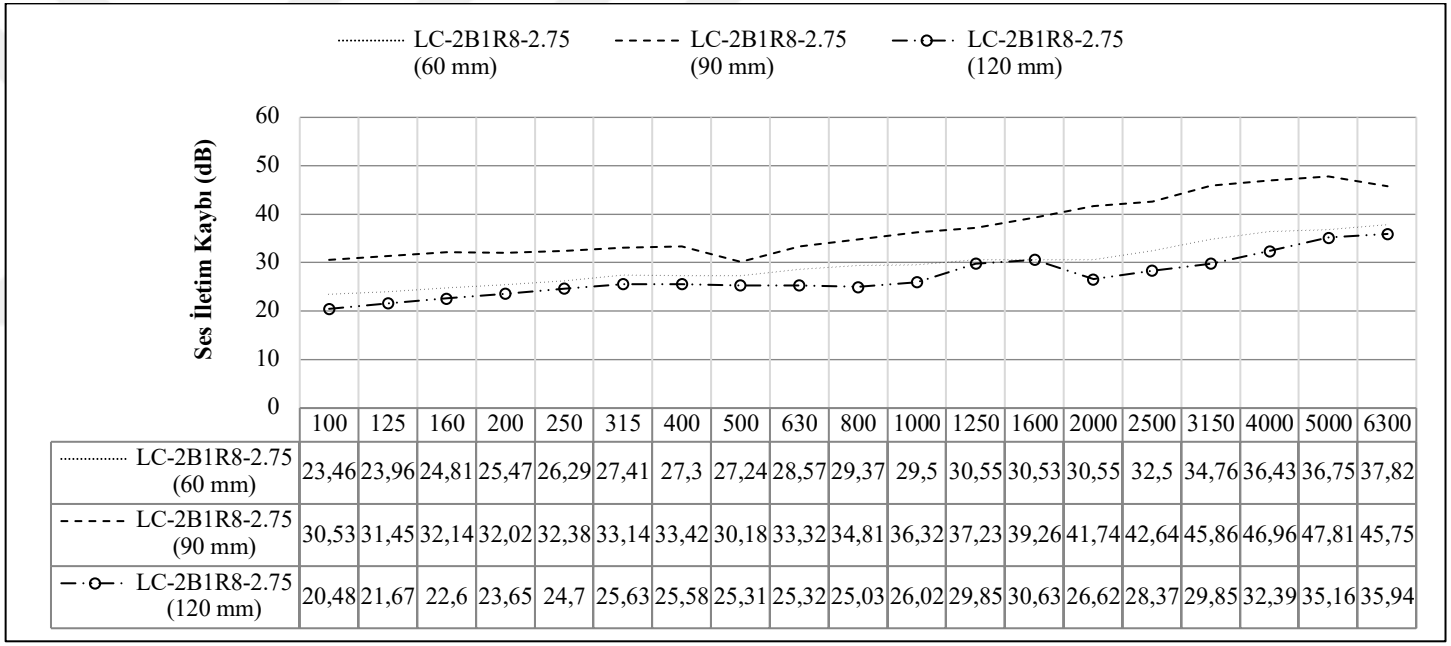


	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300
LC-B8-2.75 (120 mm)	16,97	17,41	19,32	20,57	21,88	22,84	23,64	23,72	23,66	21,5	17,59	19,36	21,17	20,14	21,6	23,83	24,64	25,64	27,12
LC-2R1B8-2.75 (120 mm)	20,45	20,96	22,81	24,18	25,17	26,26	26,07	26,01	26,05	25,49	27,03	30,09	31,66	33,71	35,81	37,96	40,03	44,08	44,14
LC-2B1R8-2.75 (120 mm)	20,48	21,67	22,6	23,65	24,7	25,63	25,58	25,31	25,32	25,03	26,02	29,85	30,63	26,62	28,37	29,85	32,39	35,16	35,94

Şekil 4.33: Barit agregasıyla ve barit ve kauçuk agregalarıyla hazırlanmış numunelerin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları (120 mm).

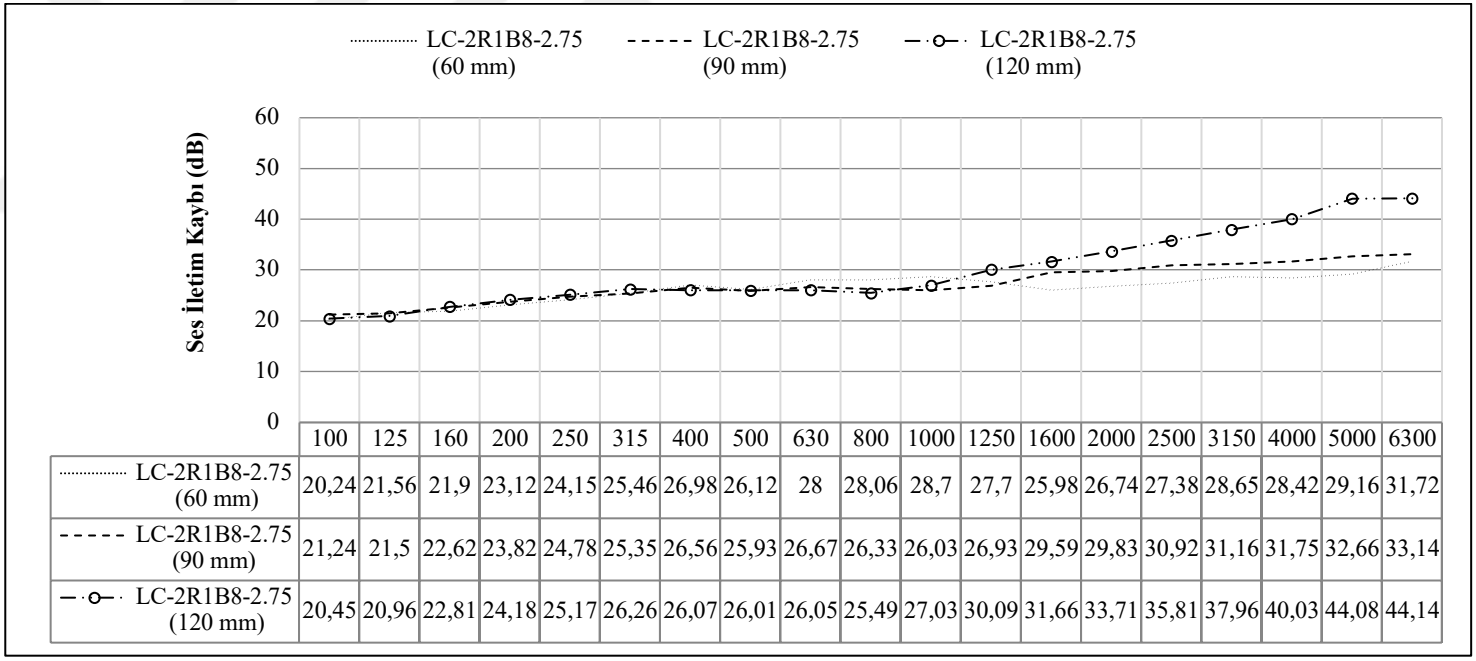
- Kalınlık artışının numunenin ses iletim kaybı değerine etkisi

Agrega türünün (S8, B8, R8) harcın ses iletim kaybı değerine etkisinin incelendiği bir önceki bölümde LC-B8-2.75 numunesi artan kalınlık bağlamında irdelenmiştir. Bu bölümde 2B1R8 ve 2R1B8 harçları artan kalınlık bağlamında değerlendirilmiştir. 2B1R8 harcında tüm frekanslarda en iyi STL değerini 90 mm kalınlığındaki harçlar göstermiştir (Şekil 4.34). Bu durum ses iletim kaybı değeri için optimum bir kalınlığın olduğunu göstermektedir. 2R1B8 harcında düşük ve orta frekans aralığında harçların ses iletim kaybı değerleri yakın sonuçlanırken, 1600 Hz'den sonra artan kalınlığa bağlı olarak STL değeri de artış göstermiştir (Şekil 4.35).



	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300
LC-2B1R8-2.75 (60 mm)	23,46	23,96	24,81	25,47	26,29	27,41	27,3	27,24	28,57	29,37	29,5	30,55	30,53	30,55	32,5	34,76	36,43	36,75	37,82
LC-2B1R8-2.75 (90 mm)	30,53	31,45	32,14	32,02	32,38	33,14	33,42	30,18	33,32	34,81	36,32	37,23	39,26	41,74	42,64	45,86	46,96	47,81	45,75
LC-2B1R8-2.75 (120 mm)	20,48	21,67	22,6	23,65	24,7	25,63	25,58	25,31	25,32	25,03	26,02	29,85	30,63	26,62	28,37	29,85	32,39	35,16	35,94

Şekil 4.34: Farklı kalınlıklarda (60-90-120 mm) iki hacim barit bir hacim kauçuk agregalarıyla hazırlanmış numunelerin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları.



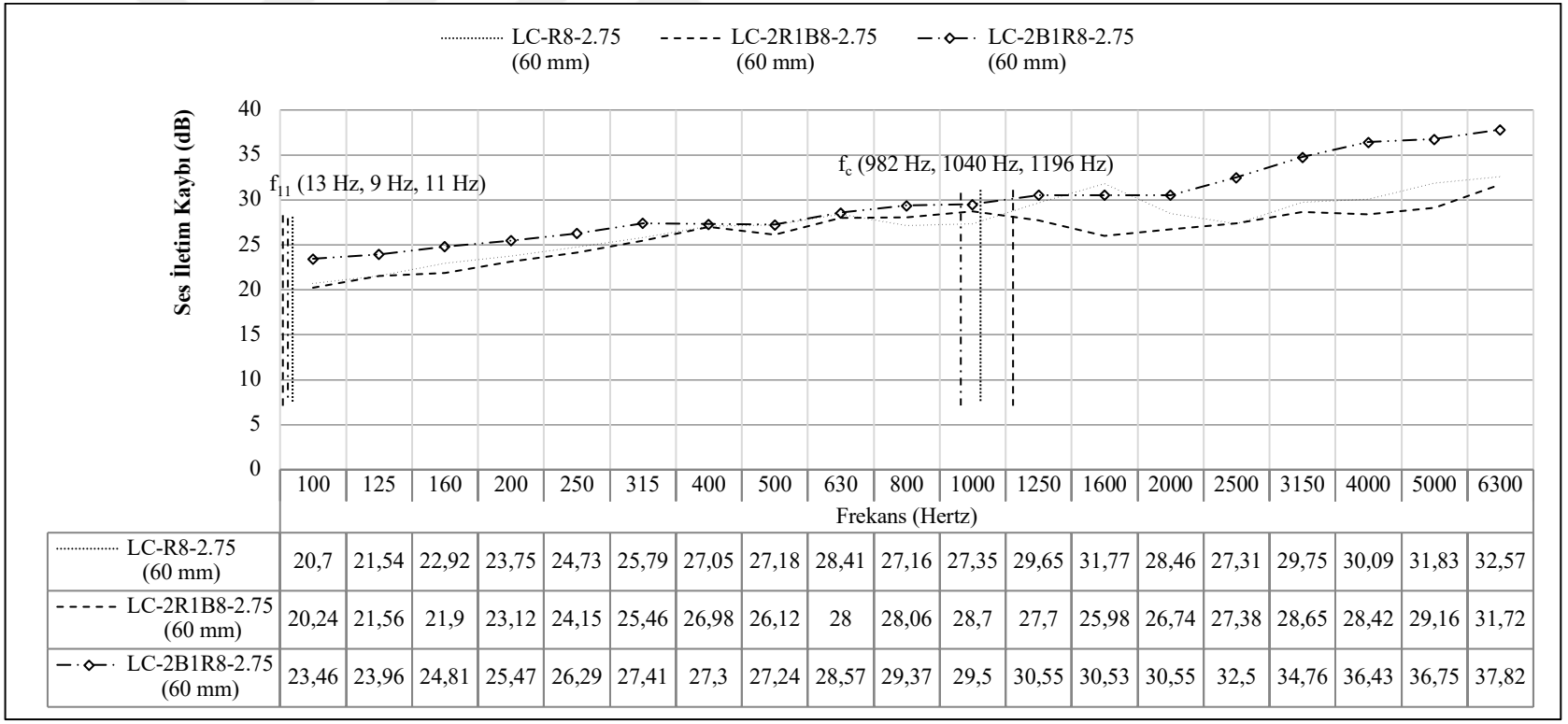
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300
LC-2R1B8-2.75 (60 mm)	20,24	21,56	21,9	23,12	24,15	25,46	26,98	26,12	28	28,06	28,7	27,7	25,98	26,74	27,38	28,65	28,42	29,16	31,72
LC-2R1B8-2.75 (90 mm)	21,24	21,5	22,62	23,82	24,78	25,35	26,56	25,93	26,67	26,33	26,03	26,93	29,59	29,83	30,92	31,16	31,75	32,66	33,14
LC-2R1B8-2.75 (120 mm)	20,45	20,96	22,81	24,18	25,17	26,26	26,07	26,01	26,05	25,49	27,03	30,09	31,66	33,71	35,81	37,96	40,03	44,08	44,14

Şekil 4.35: Farklı kalınlıklarda (60-90-120 mm) iki hacim kauçuk bir hacim barit agregalarıyla hazırlanmış numunelerin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları.

Farklı kalınlıklardaki harçlara ait kütle, rezonans frekansı ve kritik frekans verileri Çizelge 4.11'de mevcuttur. LC^3 harcında kauçuk agregasının barit ve kauçuk birleşik agregaları (2B1R8 ve 2R1B8) ile değişiminin harcın akustik özelikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. R8 harcının 2B1R8 ve 2R1B8 harçları ile değişimi basınç mukavemetini sırasıyla 3.13 ve 1.98 kat artırmıştır. Yine hipotez ile uyumlu olarak kauçuk agregasının barit ve kauçuk birleşik agregaları ile değiştirilmesi harcın R_w değerini 2B1R8 harcında 60 ve 90 mm'de yükseltmiştir. Ancak 2R1B harcında sadece 90 mm'de yükselme görülmüştür. Nitekim tüm kalınlıklarda tüm harçlara ait R_w değerleri birbirlerine çok yakındır. Barit agregasının hacimce fazla olduğu 2B1R8 harcında 90 mm'de en yüksek R_w değeri elde edilmiştir (Şekil 4.22).

- 60 mm kalınlığındaki numunelerin ses iletim kaybı

Düşük frekans aralığında etkili parametreler malzemenin sönümlemesi ve rijitliğidir. Bu üç harçtan kauçuk agregası ile hazırlanmış harcın elastiklik modülü ve yüzey yoğunluğu, 2B1R8 ve 2R1B8 harçlarına nazaran daha düşüktür. Kauçuk harcının STL değerleri 1/3 oktav bandındaki frekanslarda 20.7 ile 32.57 dB arasında değişmektedir. 2B1R8 harcının 1/3 oktav bandındaki frekanslarda STL değerleri 23.46 ile 37.82 dB arasında, 2R1B8 harcının 1/3 oktav bandındaki frekanslarda STL değerleri 20.24 ile 31.72 dB arasında değişmektedir. Düşük frekans aralığında (100–315 Hz) 2B1R8 harcı en yüksek STL değerine sahiptir (Şekil 4.36). 2B1R8 harcı bu üç harç arasında en yüksek elastiklik modülüne de sahiptir. Orta frekans aralığında kütle etkilidir ve bu bölgede (315–1600 Hz) harçların STL değeri birbirlerine çok yakın sonuçlanmıştır. Yüksek frekanslarda malzemenin rijitliği, kalınlığı ve ağırlığı birlikte etkilidir. 2B1R8 harcının yüzey yoğunluğu diğer iki harca göre daha yüksek olduğu için (Çizelge 4.11), hacimce barit agregasının fazla olduğu 2B1R8 harcının STL değeri 1600 Hz'den sonra daha yüksek bulunmuştur (4000 Hz frekansında R8 harcıyla 6 ve 2R1B8 harcıyla 8 dB fark). Yayınık gelen ses formülüyle hesaplanan numunelere ait rezonans frekansı ve kritik frekanslar Şekil 4.36'ya işlenmiştir. 60 mm kalınlığındaki R8, 2R1B8, ve 2B1R8 harçlarının sırasıyla rezonans frekansları 13 Hz, 9 Hz ve 11 Hz olarak hesaplanmıştır. Bu frekanslar da ölçüm frekans aralığının dışında kalmaktadır. Harçların aynı sırayla hesaplanan kritik frekans değerlerine bakıldığında (1040 Hz, 1196 Hz ve 982 Hz) bu noktalarda kritik frekanslardan sonra, 2R1B8 harcı hariç, STL değerinde bir belli bir düşüş gözlenmemiştir.

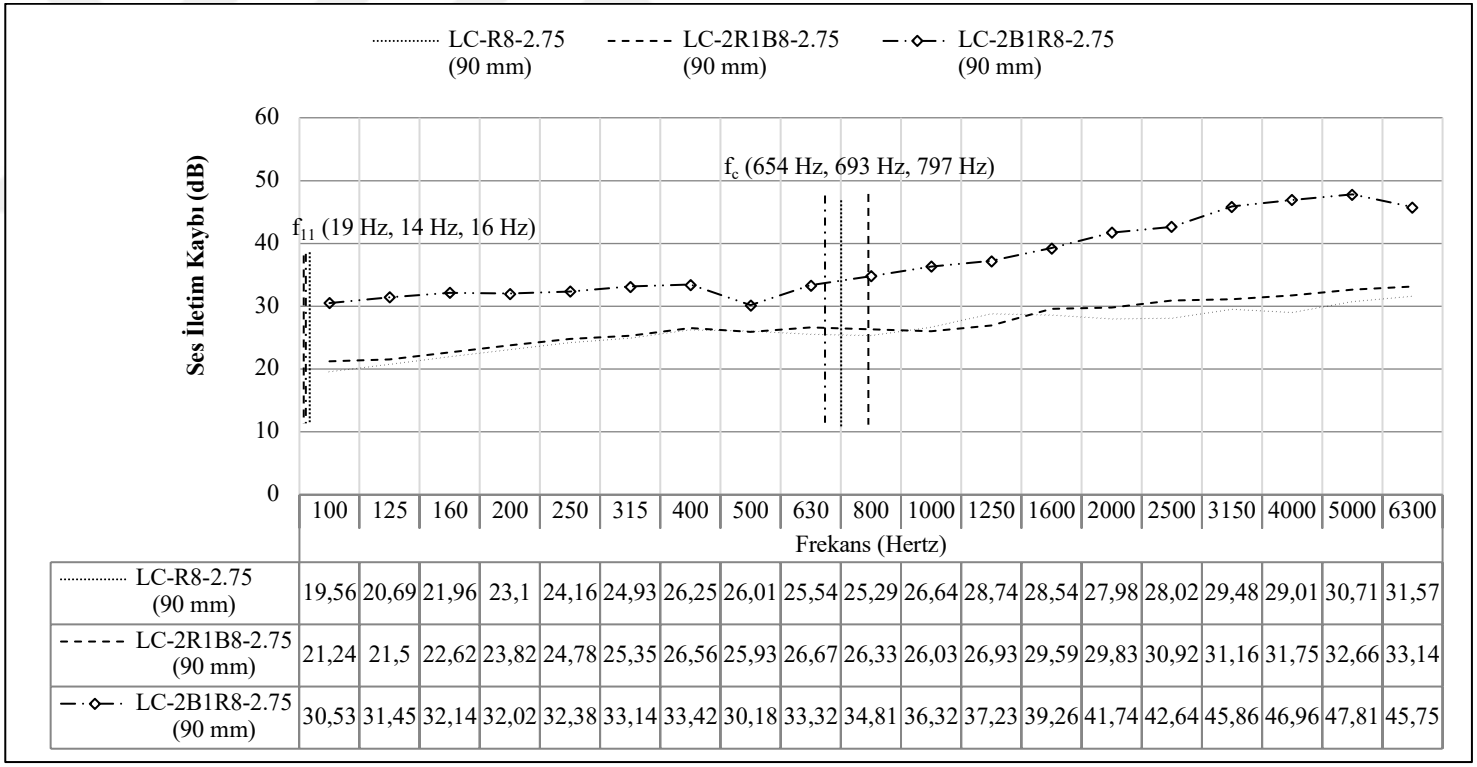


	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300
LC-R8-2.75 (60 mm)	20,7	21,54	22,92	23,75	24,73	25,79	27,05	27,18	28,41	27,16	27,35	29,65	31,77	28,46	27,31	29,75	30,09	31,83	32,57
LC-2R1B8-2.75 (60 mm)	20,24	21,56	21,9	23,12	24,15	25,46	26,98	26,12	28	28,06	28,7	27,7	25,98	26,74	27,38	28,65	28,42	29,16	31,72
LC-2B1R8-2.75 (60 mm)	23,46	23,96	24,81	25,47	26,29	27,41	27,3	27,24	28,57	29,37	29,5	30,55	30,53	30,55	32,5	34,76	36,43	36,75	37,82

Şekil 4.36: Kauçuk agregasıyla ve barit ve kauçuk agregalarıyla hazırlanmış numunelerin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları (60 mm).

- 90 mm kalınlığındaki numunelerin ses iletim kaybı

Kauçuk agregalı harcın farklı frekanslardaki STL değeri 19.56 dB ile 31.57 dB arasında değişmektedir. 2R1B8 harcının STL değeri, farklı frekanslarda 21.24 dB ila 33.14 dB arasında, 2B1R8 harcının STL değeri, 30.53 dB ila 45.75 dB arasında değişmektedir. Atık kauçuk agregası ile üretilen harcın yüzey yoğunluğu ile elastiklik modülü, barit ve kauçuk agregaları ile üretilen harçlara göre daha azdır. Azalan kütle nedeniyle, kauçuk agregalı harç düşük, orta ve yüksek frekans aralıklarında en düşük STL değerine sahiptir (Şekil 4.37). 2B1R8 harcının ağırlığı ve elastiklik modülü diğer harçlara göre daha yüksek olduğu için bu harç en yüksek STL değerini almıştır. Bir önceki bölümde (B8 harcının 2B1R8 ve 2R1B8 harçlarıyla değiştirilmesi) 2B1R8 harcı ile ilgili benzer açıklamalar bu bölümde de yapılabilir. Yayınık gelen ses formülüyle hesaplanan numunelere ait rezonans frekansı ve kritik frekanslar Şekil 4.37'ye işlenmiştir. 90 mm kalınlığındaki R8, 2R1B8, ve 2B1R8 harçlarının sırasıyla rezonans frekansları 19 Hz, 14 Hz ve 16 Hz olarak hesaplanmıştır. Bu frekanslar da ölçüm frekans aralığının dışında kalmaktadır. Harçların aynı sırayla hesaplanan kritik frekans değerlerine (693 Hz, 797 Hz ve 654 Hz) bakıldığında 2R1B8 harcının STL değeri rezonans frekansı olan 797 Hz'den sonra belli bir düşüşe neden olmuş, diğer harçlarda düşüş gözlenmemiştir.

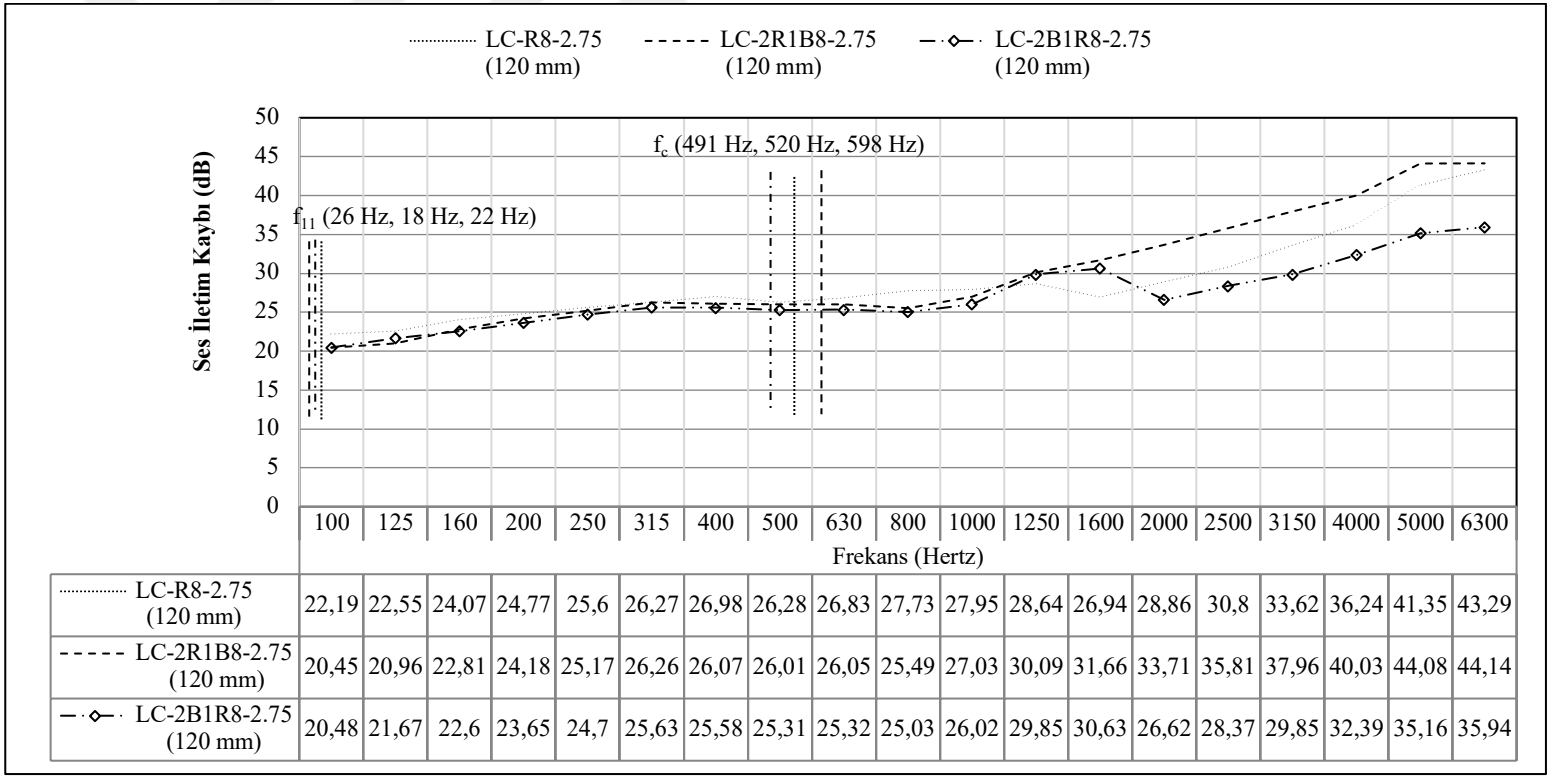


	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300
LC-R8-2.75 (90 mm)	19,56	20,69	21,96	23,1	24,16	24,93	26,25	26,01	25,54	25,29	26,64	28,74	28,54	27,98	28,02	29,48	29,01	30,71	31,57
LC-2R1B8-2.75 (90 mm)	21,24	21,5	22,62	23,82	24,78	25,35	26,56	25,93	26,67	26,33	26,03	26,93	29,59	29,83	30,92	31,16	31,75	32,66	33,14
LC-2B1R8-2.75 (90 mm)	30,53	31,45	32,14	32,02	32,38	33,14	33,42	30,18	33,32	34,81	36,32	37,23	39,26	41,74	42,64	45,86	46,96	47,81	45,75

Şekil 4.37: Kauçuk agregasıyla ve barit ve kauçuk agregalarıyla hazırlanmış numunelerin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları (90 mm).

- 120 mm kalınlığındaki numunelerin ses iletim kaybı

Kauçuk agregalı harcın STL değeri, farklı frekanslarda 22.19 ila 43.29 dB arasında değişmektedir. 2R1B8 harcının STL değeri, farklı frekanslarda 20.45 ile 44.14 dB arasında değişmektedir. 2B1R8 harcının farklı frekanslardaki STL değeri ise 20.48 ile 35.94 dB arasında değişmektedir. Kauçuk agregası ile üretilen harçların yüzey yoğunluğu, barit ve kauçuk agregalarıyla üretilen harçlara göre daha düşük bulunmuştur. Ancak düşük ve orta frekanslarda tüm harçların STL değerleri yakın sonuçlanmıştır (Şekil 4.38). Yüksek frekanslarda, 1600 Hz'den sonra 2R1B8 harcı en yüksek STL değerlerini almış, onu kauçuk agregası takip etmiş ve en düşük STL değerini 2B1R8 harcı göstermiştir. Yayınık gelen ses formülüyle hesaplanan numunelere ait rezonans frekansı ve kritik frekanslar Şekil 4.38'e işlenmiştir. 120 mm kalınlığındaki R8, 2R1B8, ve 2B1R8 harçlarının sırasıyla rezonans frekansları 26 Hz, 18 Hz ve 22 Hz olarak hesaplanmıştır. Bu frekanslar da ölçüm frekans aralığının dışında kalmaktadır. Harçların aynı sırayla hesaplanan kritik frekans değerlerine (520 Hz, 598 Hz ve 491 Hz) bakıldığında kauçuklu harcın STL değerinde bir düşüş görülmezken barit ve kauçuk agregalı harçlarda azalma olmuştur.



	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300
LC-R8-2.75 (120 mm)	22,19	22,55	24,07	24,77	25,6	26,27	26,98	26,28	26,83	27,73	27,95	28,64	26,94	28,86	30,8	33,62	36,24	41,35	43,29
LC-2R1B8-2.75 (120 mm)	20,45	20,96	22,81	24,18	25,17	26,26	26,07	26,01	26,05	25,49	27,03	30,09	31,66	33,71	35,81	37,96	40,03	44,08	44,14
LC-2B1R8-2.75 (120 mm)	20,48	21,67	22,6	23,65	24,7	25,63	25,58	25,31	25,32	25,03	26,02	29,85	30,63	26,62	28,37	29,85	32,39	35,16	35,94

Şekil 4.38: Kauçuk agregasıyla ve barit ve kauçuk agregalarıyla hazırlanmış numunelerin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları (120 mm).

Agrega cinsinin (kum, barit, kauçuk agregalı ve barit ve kauçuk agregalı) LC^3 harcının akustik özelikleri üzerindeki basınç dayanımına bağlı etkisi Şekil 4.22'de görülmektedir. Barit agregası ile artan ağırlık ve kauçuk agregası ile sağlanan sönümleme, harçta ağırlığın veya sönümlemenin tek başlarına yeterli olmadığını ve her ikisinin birlikte sağlanması gerektiğini kanıtlamaktadır. Artan kalınlığın ise her zaman R_w değerini iyileştirmediği, optimum bir kalınlığın olduğu da görülmektedir. Tüm harçlar karşılaştırıldığında 2B1R8 harcı 90 mm'de en yüksek R_w değerini almıştır.

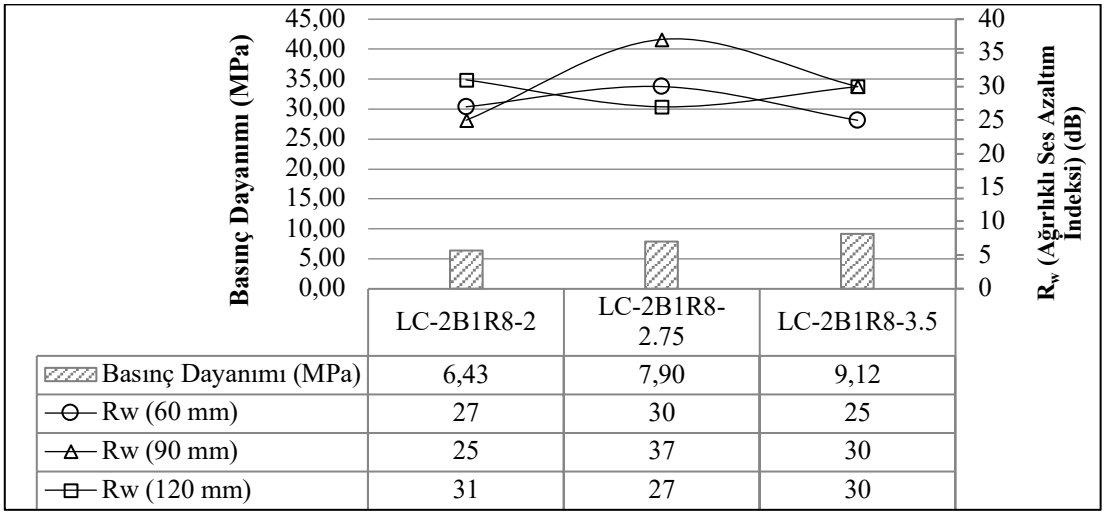
4.2.4 Agrega/bağlayıcı oranının barit ve kauçuk agregalı (2B1R ve 2R1B) LC^3 harcının ses iletim kaybı üzerindeki etkisi

4.2.4.1 2 hacim barit 1 hacim kauçuk agregalı harcın (2B1R) etkisi

2B1R harcının agrega/bağlayıcı oranı 2.75'ten 2 ve 3.5 olarak değiştirilmiştir. Farklı kalınlıklardaki harçlara ait kütle, birim yüzey kütlesi, rezonans frekansı ve kritik frekans verileri Çizelge 4.12'de mevcuttur. Fiziksel ve mekanik özeliklerle paralel olarak, akustik özeliklerde 90 mm kalınlığındaki 2.75 harcında en yüksek R_w değeri elde edilmiştir (Şekil 4.39). Agrega/bağlayıcı oranının 2.75'den 2 olarak değişimi, 120 mm'de en yüksek R_w değeri elde edilmesini sağlamış, diğer oranlarda artan kalınlığa bağlı iyileşme görülmemiştir (Şekil 4.39).

Çizelge 4.12: Farklı kalınlıktaki numunelere (60-90-120 mm) ait kütle, birim yüzey kütlesi, rezonans frekans f_{11} (Hz) ve kritik frekans f_c (Hz) verileri.

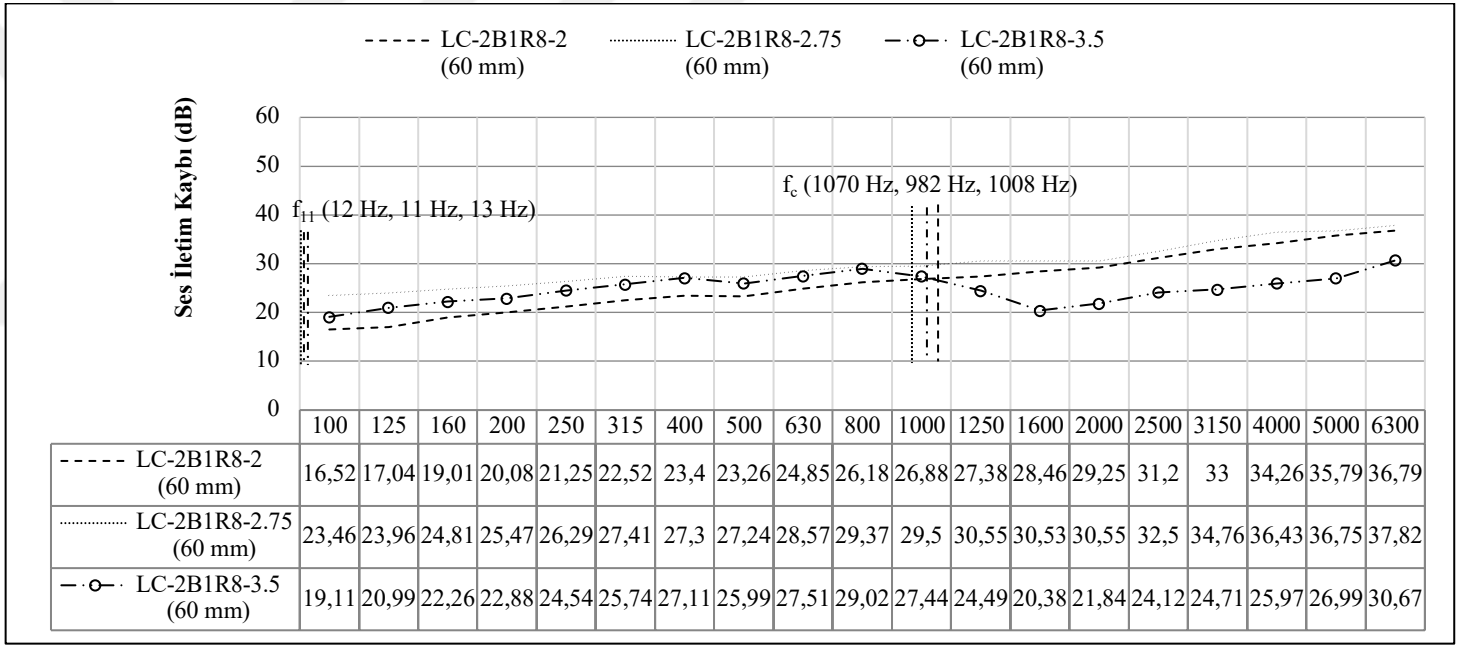
	98 mm (g, g/cm^2)	28mm (g, g/cm^2)	f_{11} (Hz)	f_c (Hz)
LC-2B1R8-2 (60 mm)	981.59 , 13.02	75.08 , 12.20	12.23	1070.66
LC-2B1R8-2 (90 mm)	1488.59 , 19.74	109.92 , 17.87	18.34	713.78
LC-2B1R8-2 (120 mm)	1966.13 , 26.07	121.31 , 19.72	24.46	535.33
LC-2B1R8-2.75 (60 mm)	1038.91 , 13.78	64.78 , 10.53	11.22	982.22
LC-2B1R8-2.75 (90 mm)	1552.7 , 20.59	96.07 , 15.62	16.83	654.81
LC-2B1R8-2.75 (120 mm)	2050.91 , 27.20	133.95 , 21.78	22.44	491.11
LC-2B1R8-3.5 (60 mm)	1047.23 , 13.89	81.35 , 13.22	13.00	1008.72
LC-2B1R8-3.5 (90 mm)	1558.22 , 20.66	118.06 , 19.19	19.50	672.48
LC-2B1R8-3.5 (120 mm)	2065.95 , 27.40	150.77 , 24.51	26.01	504.36



Şekil 4.39: Farklı agrega/bağlayıcı oranlarıyla oluşturulmuş, 2B1R8 LC^3 bağlayıcılı numunelerin basınç dayanımı ve kalınlığa bağlı ağırlıklı ses azaltma indeksleri.

- 60 mm kalınlığındaki numunelerin ses iletim kaybı

Düşük frekans aralığında etkili parametreler malzemenin sönümlemesi ve rijitliğidir. Bu üç harçtan agrega/bağlayıcı oranı 2.75 olan harç ile hazırlanmış harcın elastiklik modülü, 2 ve 3.5 harçlarına nazaran daha fazladır. 2 harcının STL değerleri 1/3 oktav bandındaki frekanslarda 16.52 ile 36.79 dB arasında değişmektedir. 2.75 harcının 1/3 oktav bandındaki frekanslarda STL değerleri 23.46 ile 37.82 dB arasında, 3.5 harcının 1/3 oktav bandındaki frekanslarda STL değerleri 19.11 ile 30.67 dB arasında değişmektedir. Tüm frekanslarda 2.75 harcı en yüksek STL değerine sahiptir (Şekil 4.40). 3.5 harcıyla daha dolu bir yapı elde edilmişse de 2.75 harcıyla aralarındaki fark 10 dB'e kadar çıkmaktadır. Boşluk oranı en fazla olan 2 harcı 1000 Hz frekansına kadar en düşük ses iletim kaybı değerini almıştır. Yayınık gelen ses formülüyle hesaplanan numunelere ait rezonans frekansı ve kritik frekanslar Şekil 4.40'a işlenmiştir. 60 mm kalınlığındaki 2, 2.75 ve 3.5 harçlarının sırasıyla rezonans frekansları 12 Hz, 11 Hz ve 13 Hz olarak hesaplanmıştır. Bu frekanslar da ölçüm frekans aralığının dışında kalmaktadır. Harçların aynı sırayla hesaplanan kritik frekans değerlerine bakıldığında (1070 Hz, 982 Hz ve 1008 Hz) bu noktalarda kritik frekanslardan sonra, 3.5 harcı hariç, STL değerinde bir belli bir düşüş gözlenmemiştir. Agrega/bağlayıcı oranı harçlarda değişse de rezonans frekansı ve kritik frekanslar birbirlerine çok yakın sonuçlanmıştır.

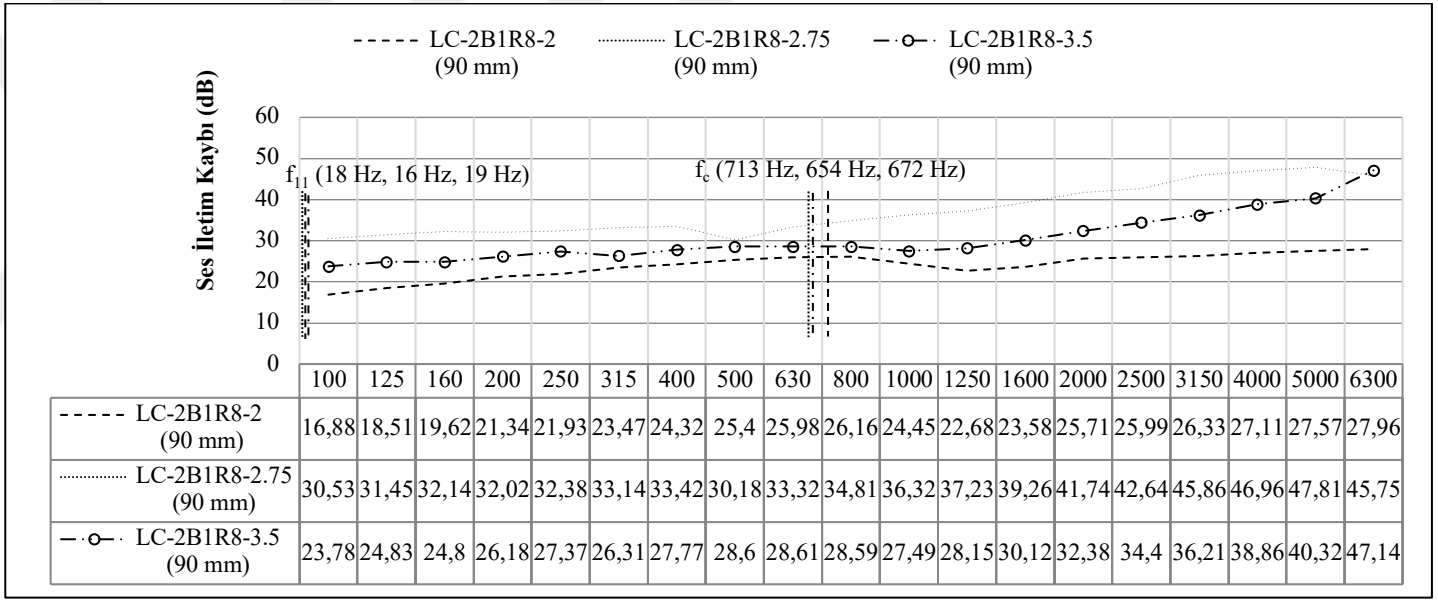


	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300
LC-2B1R8-2 (60 mm)	16,52	17,04	19,01	20,08	21,25	22,52	23,4	23,26	24,85	26,18	26,88	27,38	28,46	29,25	31,2	33	34,26	35,79	36,79
LC-2B1R8-2.75 (60 mm)	23,46	23,96	24,81	25,47	26,29	27,41	27,3	27,24	28,57	29,37	29,5	30,55	30,53	30,55	32,5	34,76	36,43	36,75	37,82
LC-2B1R8-3.5 (60 mm)	19,11	20,99	22,26	22,88	24,54	25,74	27,11	25,99	27,51	29,02	27,44	24,49	20,38	21,84	24,12	24,71	25,97	26,99	30,67

Şekil 4.40: İki hacim barit agregalı ve bir hacim kauçuk agregalı (2B1R) numunelerin agrega/bağlayıcı oranının artması ve azalmasına bağlı 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları (60 mm).

- 90 mm kalınlığındaki numunelerin ses iletim kaybı

2 harcının farklı frekanslardaki STL değeri 16.88 dB ile 27.96 dB arasında, 2.75 harcının STL değeri, farklı frekanslarda 30.53 dB ila 45.75 dB arasında, 3.5 harcının STL değeri, 23.78 dB ila 47.14 dB arasında değişmektedir. Agrega/bağlayıcı oranının artırılıp azaltılması 90 mm kalınlığında akustik açıdan bir iyileşme sağlayamamış, tüm frekanslarda en iyi yalıtım değeri yine LC-2B1R8-2.75 harcında elde edilmiştir. 2.75 harcını 3.5 harcı takip etmiş, en düşük ses yalıtım değeri 2 harcında görülmüştür. 2 harcı elastiklik modülü ve yüzey yoğunluğu en düşük olan harçtır. Bu nedenle bu durum beklenen bir durumdur. 3.5 harcı ise barit oranının fazla olduğu bir harç olduğundan ve salt barit agregalı harçlarda olduğu gibi rijitlik kontrolü sağlamada yetersiz kaldığından bu harç en yüksek ses yalıtım değerini gösterememiştir. Yayınık gelen ses formülüyle hesaplanan numunelere ait rezonans frekansı ve kritik frekanslar Şekil 4.41'e işlenmiştir. 90 mm kalınlığındaki 2, 2.75 ve 3.5 harçlarının sırasıyla rezonans frekansları 18 Hz, 16 Hz ve 19 Hz olarak hesaplanmıştır. Bu frekanslar da ölçüm frekans aralığının dışında kalmaktadır. Harçların aynı sırayla hesaplanan kritik frekans değerlerine (713 Hz, 654 Hz ve 672 Hz) bakıldığında 3.5 harcının STL değeri rezonans frekansı olan 672 Hz'den sonra belli bir düşüşe neden olmuştur.

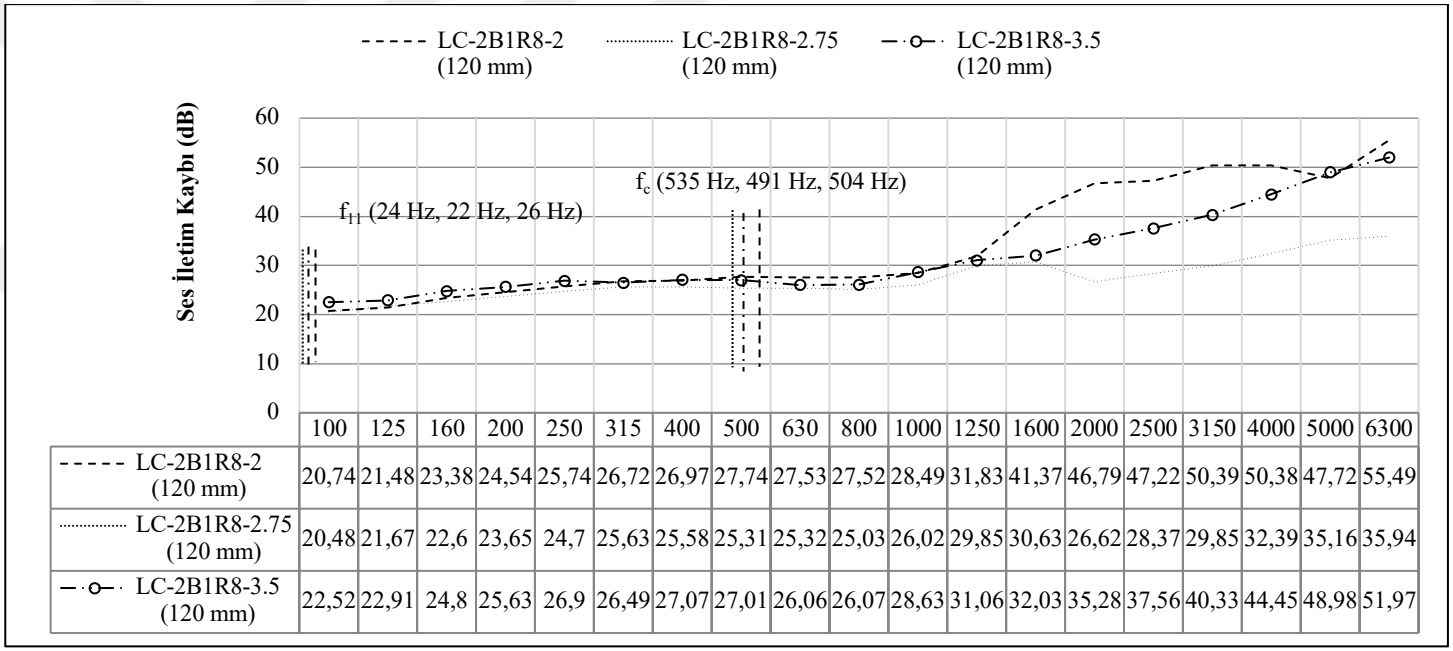


	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300
LC-2B1R8-2 (90 mm)	16,88	18,51	19,62	21,34	21,93	23,47	24,32	25,4	25,98	26,16	24,45	22,68	23,58	25,71	25,99	26,33	27,11	27,57	27,96
LC-2B1R8-2.75 (90 mm)	30,53	31,45	32,14	32,02	32,38	33,14	33,42	30,18	33,32	34,81	36,32	37,23	39,26	41,74	42,64	45,86	46,96	47,81	45,75
LC-2B1R8-3.5 (90 mm)	23,78	24,83	24,8	26,18	27,37	26,31	27,77	28,6	28,61	28,59	27,49	28,15	30,12	32,38	34,4	36,21	38,86	40,32	47,14

Şekil 4.41: İki hacim barit agregalı ve bir hacim kauçuk agregalı (2B1R) numunelerin agrega/bağlayıcı oranının artması ve azalmasına bağlı 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları (90 mm).

- 120 mm kalınlığındaki numunelerin ses iletim kaybı

2 harcının farklı frekanslardaki STL değeri 20.7 dB ile 55.5 dB arasında, 2.75 harcının STL değeri, farklı frekanslarda 20.5 dB ila 35.9 dB arasında, 3.5 harcının STL değeri, 22.5 dB ila 52 dB arasında değişmektedir. Agrega/bağlayıcı oranının azaltılması 120 mm kalınlığında iyileşme sağlamış, tüm frekanslarda en iyi yalıtım değeri LC-2B1R8-2 harcında elde edilmiştir. 2 harcını 3.5 harcı takip etmiş, en düşük ses yalıtım değeri 2.75 harcında görülmüştür. 2 harcı elastiklik modülü ve yüzey yoğunluğu en düşük olan harçtır. Bu durum beklenenin dışında bir durumdur. 3.5 harcı ise barit oranının fazla olduğu bir harç olduğundan ve salt barit agregalı harçlarda olduğu gibi rijitlik kontrolü sağlamada yetersiz kaldığından bu harç en yüksek ses yalıtım değerini gösterememiştir. Yayınık gelen ses formülüyle hesaplanan numunelere ait rezonans frekansı ve kritik frekanslar Şekil 4.42'ye işlenmiştir. 120 mm kalınlığındaki 2, 2.75 ve 3.5 harçlarının sırasıyla rezonans frekansları 24 Hz, 22 Hz ve 26 Hz olarak hesaplanmıştır. Bu frekanslar da ölçüm frekans aralığının dışında kalmaktadır. Harçların aynı sırayla hesaplanan kritik frekans değerlerine (535 Hz, 491 Hz ve 504 Hz) bakıldığında tüm harçlarda STL değeri rezonans frekanslardından sonra belli bir düşüşe neden olmuştur.

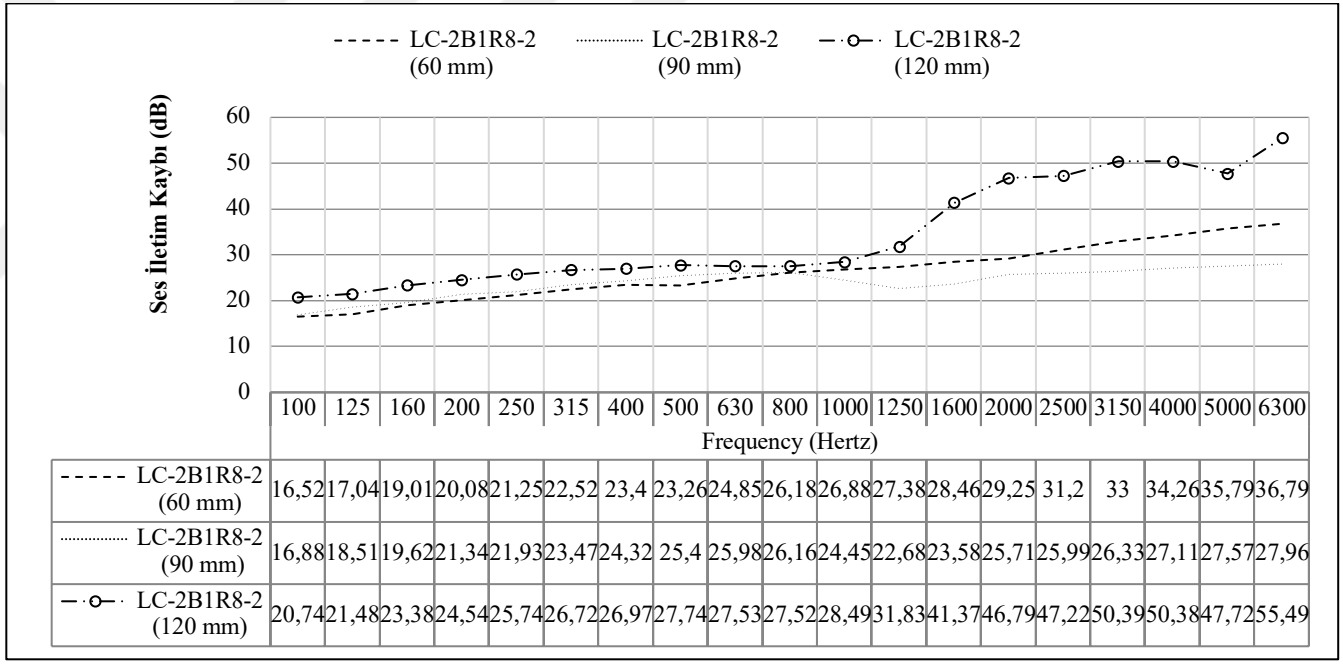


	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300
LC-2B1R8-2 (120 mm)	20,74	21,48	23,38	24,54	25,74	26,72	26,97	27,74	27,53	27,52	28,49	31,83	41,37	46,79	47,22	50,39	50,38	47,72	55,49
LC-2B1R8-2.75 (120 mm)	20,48	21,67	22,6	23,65	24,7	25,63	25,58	25,31	25,32	25,03	26,02	29,85	30,63	26,62	28,37	29,85	32,39	35,16	35,94
LC-2B1R8-3.5 (120 mm)	22,52	22,91	24,8	25,63	26,9	26,49	27,07	27,01	26,06	26,07	28,63	31,06	32,03	35,28	37,56	40,33	44,45	48,98	51,97

Şekil 4.42: İki hacim barit agregalı ve bir hacim kauçuk agregalı (2B1R8) numunelerin agrega/bağlayıcı oranının artması ve azalmasına bağlı 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları (120 mm).

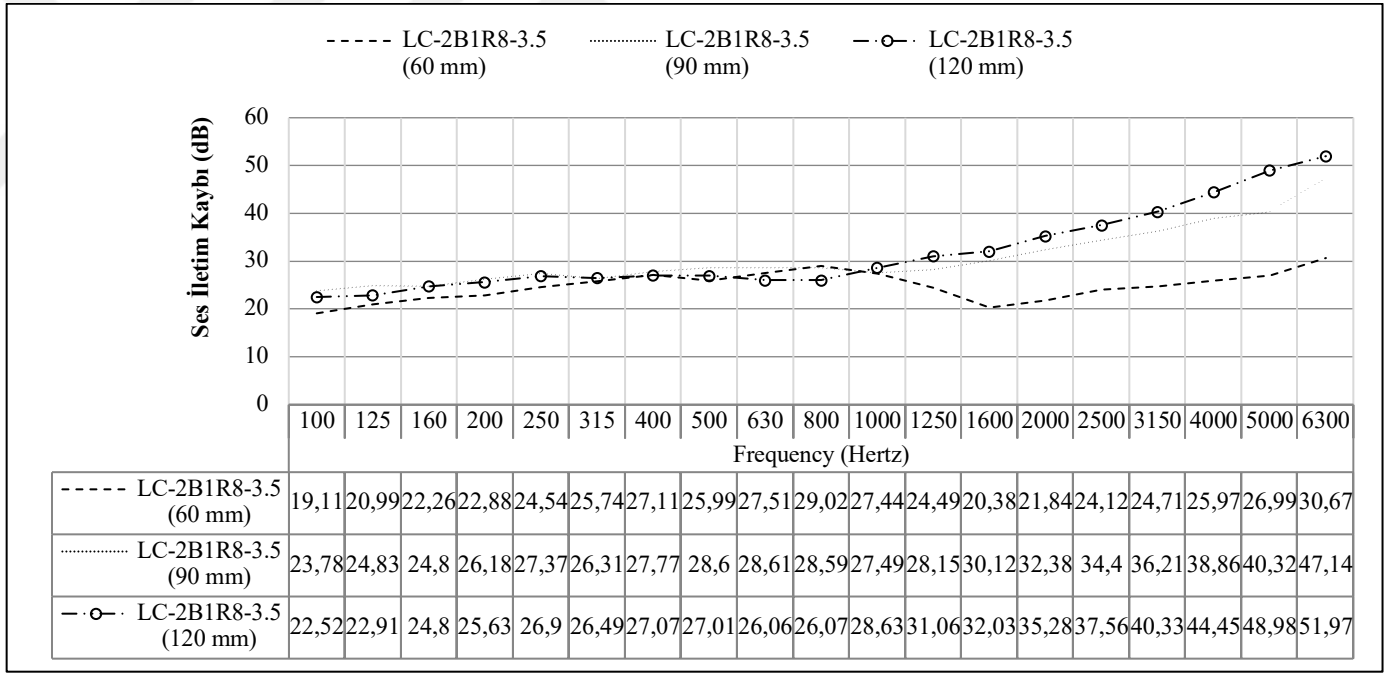
- Kalınlık artışının numunenin ses iletim kaybı değerine etkisi

Barit ve kauçuk agregalı harçların (2B1R8 ve 2R1B8) harcın ses iletim kaybı değerine etkisinin incelendiği bir önceki bölümde 2.75 numunesi artan kalınlık bağlamında irdelenmiştir. Bu bölümde agrega/bağlayıcı oranının (2-3.5) harcın akustik özeliklerine etkisi artan kalınlık bağlamında değerlendirilmiştir. 2 harcında tüm frekanslarda en iyi STL değerini 120 mm kalınlığındaki harçlar göstermiştir (Şekil 4.43). Düşük ve orta frekanslarda 60 mm ve 90 mm'lik harçlar yakın performans göstermiş, yüksek frekanslarda 60 mm'lik harcın STL değeri 90 mm'ye nazaran iyileşmiştir. Bu durum bir önceki harçlarda olduğu gibi ses iletim kaybı değeri için optimum bir kalınlığın olduğunu göstermektedir. 3.5 harcında düşük ve orta frekanslarda tüm harçlar yakın STL değeri almışken, yüksek frekanslarda 120 mm'lik harç en yüksek yalıtım değerini almıştır (Şekil 4.43).



	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300
LC-2B1R8-2 (60 mm)	16,52	17,04	19,01	20,08	21,25	22,52	23,4	23,26	24,85	26,18	26,88	27,38	28,46	29,25	31,2	33	34,26	35,79	36,79
LC-2B1R8-2 (90 mm)	16,88	18,51	19,62	21,34	21,93	23,47	24,32	25,4	25,98	26,16	24,45	22,68	23,58	25,71	25,99	26,33	27,11	27,57	27,96
LC-2B1R8-2 (120 mm)	20,74	21,48	23,38	24,54	25,74	26,72	26,97	27,74	27,53	27,52	28,49	31,83	41,37	46,79	47,22	50,39	50,38	47,72	55,49

Şekil 4.43: Farklı kalınlıklarda (60-90-120 mm) iki hacim barit agregalı ve bir hacim kauçuk agregalı (2B1R8-2) numunelerin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları.



	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300
LC-2B1R8-3.5 (60 mm)	19,11	20,99	22,26	22,88	24,54	25,74	27,11	25,99	27,51	29,02	27,44	24,49	20,38	21,84	24,12	24,71	25,97	26,99	30,67
LC-2B1R8-3.5 (90 mm)	23,78	24,83	24,8	26,18	27,37	26,31	27,77	28,6	28,61	28,59	27,49	28,15	30,12	32,38	34,4	36,21	38,86	40,32	47,14
LC-2B1R8-3.5 (120 mm)	22,52	22,91	24,8	25,63	26,9	26,49	27,07	27,01	26,06	26,07	28,63	31,06	32,03	35,28	37,56	40,33	44,45	48,98	51,97

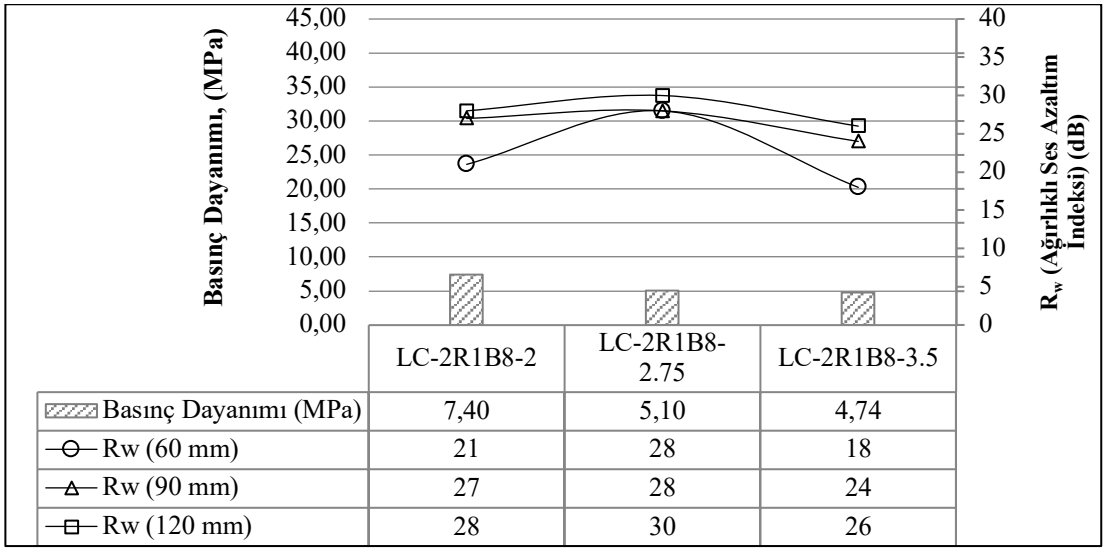
Şekil 4.44: Farklı kalınlıklarda (60-90-120 mm) iki hacim barit agregalı ve bir hacim kauçuk agregalı (2B1R8-3.5) numunelerin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları.

4.2.4.2 2 hacim kauçuk 1 hacim barit agregalı harcın (2R1B) etkisi

Farklı kalınlıklardaki harçlara ait kütle, birim yüzey kütlesi, rezonans frekansı ve kritik frekans verileri Çizelge 4.13'te mevcuttur. En az kauçuk içeriğine sahip 2 harcı en yüksek basınç dayanımı değerini almış, en poroz harç 3.5 harcı ise en düşük değeri almıştır. Akustik özeliklerde ise tüm kalınlıklarında, 2.75 harcında en yüksek R_w değeri elde edilmiştir. Agrega/bağlayıcı oranının 2 ve 3.5 olarak değişimi bu harçta da R_w değerini iyileştirememiştir. Harç standartlarında kullanılan 2.75 agrega/bağlayıcı oranı R_w değeri açısından en yüksek değeri vermiştir denilebilir (Şekil 4.45).

Çizelge 4.13: Farklı kalınlıktaki numunelere (60-90-120 mm) ait kütle, birim yüzey kütlesi, rezonans frekansı f_{11} (Hz) ve kritik frekans f_c (Hz) verileri.

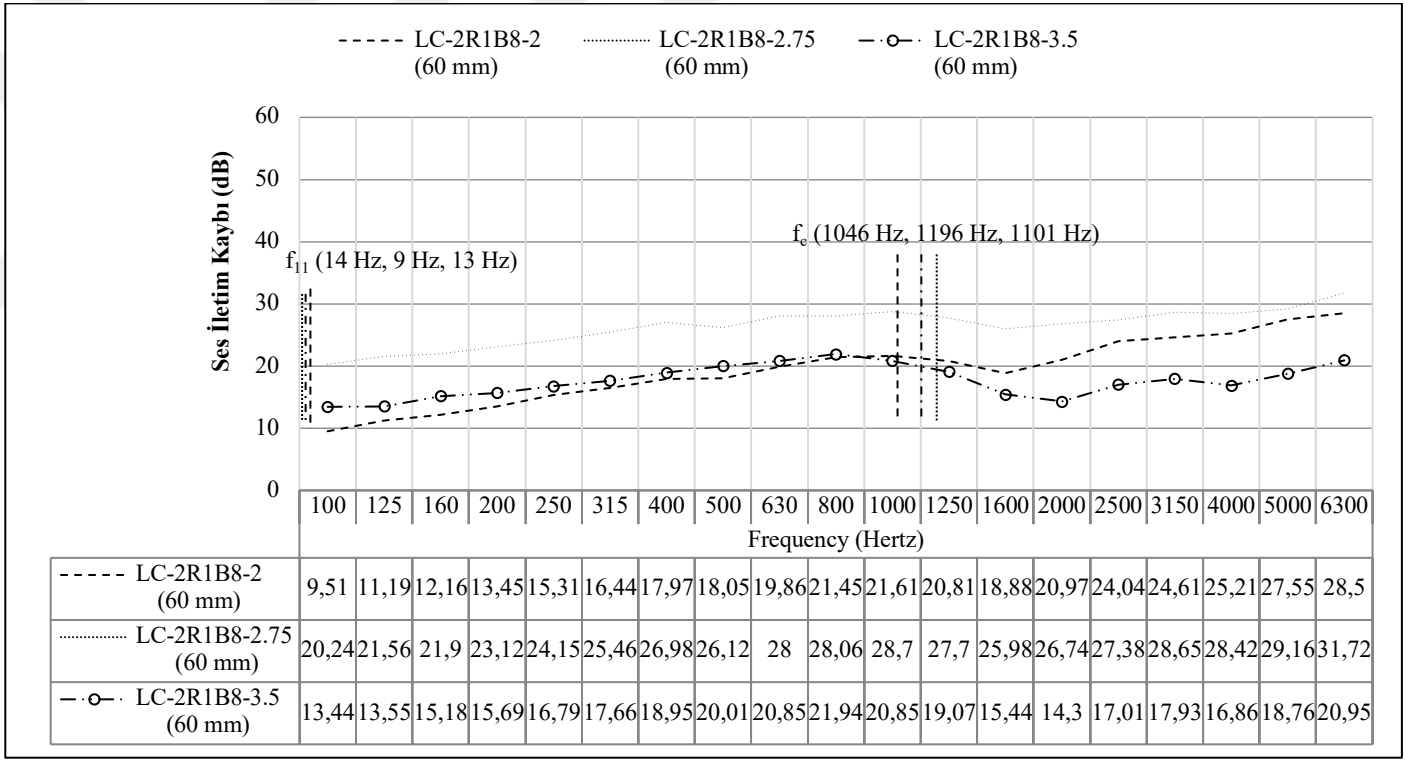
	98 mm (g, g/cm^2)	28mm (g, g/cm^2)	f_{11} (Hz)	f_c (Hz)
LC-2R1B8-2 (60 mm)	744.27 , 9.87	60.96 , 9.91	14.28	1046.61
LC-2R1B8-2 (90 mm)	1156.87 , 15.34	89.20 , 14.50	21.42	697.74
LC-2R1B8-2 (120 mm)	1564.46 , 20.75	115.63 , 18.80	28.56	523.30
LC-2R1B8-2.75 (60 mm)	780.33 , 10.35	40.46 , 6.57	9.4	1196.68
LC-2R1B8-2.75 (90 mm)	1175.36, 15.59	73.22 , 11.90	14.11	797.79
LC-2R1B8-2.75 (120 mm)	1559.83 , 20.69	101.46 , 16.49	18.81	598.34
LC-2R1B8-3.5 (60 mm)	727.64 , 9.65	57.44 , 9.33	13.58	1101.57
LC-2R1B8-3.5 (90 mm)	1117.06 , 14.81	83.70 , 13.60	20.37	734.38
LC-2R1B8-3.5 (120 mm)	1488.71 , 19.74	112.69 , 18.32	27.16	550.78



Şekil 4.45: Farklı agrega/bağlayıcı oranlarıyla oluşturulmuş, 2R1B8 LC^3 bağlayıcılı numunelerin basınç dayanımı ve kalınlığa bağlı ağırlıklı ses azaltma indeksleri.

- 60 mm kalınlığındaki numunelerin ses iletim kaybı

Agrega/bağlayıcı oranı 2.75 olan harç akustik özelikler açısından tüm frekanslarda en yüksek STL değerlerini almıştır. 2 harcıyla daha dolu bir yapı elde edilmişse de 2.75 harcıyla aralarındaki fark 11 dB'e kadar çıkmaktadır. 2 harcı 800 Hz frekansına kadar en düşük ses iletim kaybı değerini almıştır. 800 Hz'den sonra ise 2.75 harcından sonra en iyi yalıtım performansını göstermiştir. Daha boşluklu bir yapıya sahip olan 3.5 harcı yine 800 Hz frekansından sonra en düşük ses yalıtımını sağlamaktadır (Şekil 4.46). Yayınık gelen ses formülüyle hesaplanan numunelere ait rezonans frekansı ve kritik frekanslar Şekil 4.46'ya işlenmiştir. 60 mm kalınlığındaki 2, 2.75 ve 3.5 harçlarının sırasıyla rezonans frekansları 14 Hz, 9 Hz ve 13 Hz olarak hesaplanmıştır. Bu frekanslar da ölçüm frekans aralığının dışında kalmaktadır. Harçların aynı sırayla hesaplanan kritik frekans değerlerine (1046 Hz, 1196 Hz ve 1101 Hz) tüm harçlarda STL değeri, rezonans frekansı sonra belli bir düşüşe neden olmuştur.

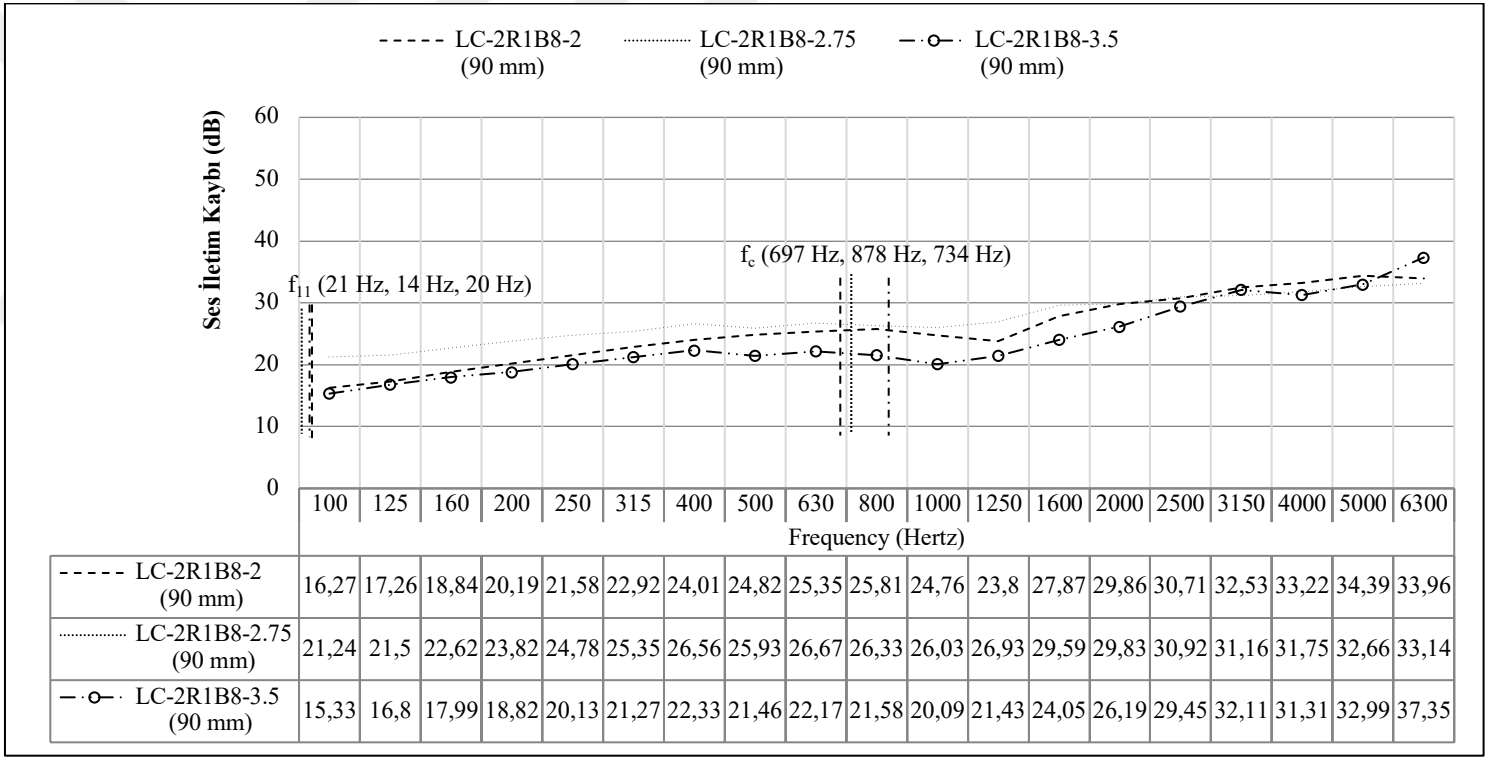


	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300
LC-2R1B8-2 (60 mm)	9,51	11,19	12,16	13,45	15,31	16,44	17,97	18,05	19,86	21,45	21,61	20,81	18,88	20,97	24,04	24,61	25,21	27,55	28,5
LC-2R1B8-2.75 (60 mm)	20,24	21,56	21,9	23,12	24,15	25,46	26,98	26,12	28	28,06	28,7	27,7	25,98	26,74	27,38	28,65	28,42	29,16	31,72
LC-2R1B8-3.5 (60 mm)	13,44	13,55	15,18	15,69	16,79	17,66	18,95	20,01	20,85	21,94	20,85	19,07	15,44	14,3	17,01	17,93	16,86	18,76	20,95

Şekil 4.46: İki hacim kauçuk agregalı ve bir hacim barit agregalı (2R1B) numunelerin agrega/bağlayıcı oranının artması ve azalmasına bağlı 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları (60 mm).

- 90 mm kalınlığındaki numunelerin ses iletim kaybı

90 mm kalınlığında 2500 Hz'e kadar en yüksek ses iletim kaybı değeri agrega/bağlayıcı oranı 2.75 olan harçta elde edilmişse de 500 Hz'den sonra 2 harcı ile yakın değerler gözlenmiştir. Bunun nedeni en yüksek yüzey yoğunluğuna sahip harcın 2.75 harcı olmasıdır denilebilir. 2500 Hz'den sonra ise tüm harçlarda yakın ses iletim kaybı değerleri elde edilmiştir. Yüksek frekanslarda agrega/bağlayıcı oranı değişiminin malzemedeki ses iletim kaybı değerlerine etkisi 60 mm'lik harca nazaran daha az olmuştur (Şekil 4.47).

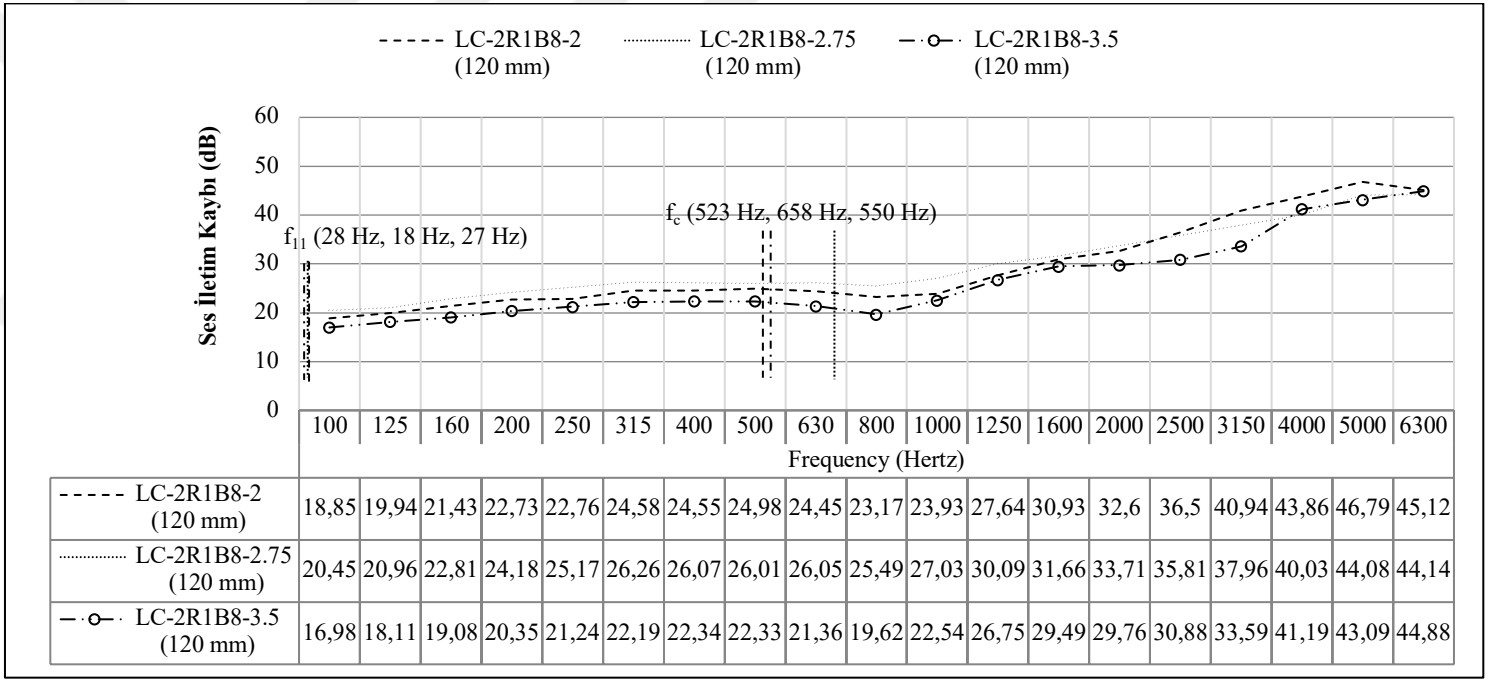


	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300
LC-2R1B8-2 (90 mm)	16,27	17,26	18,84	20,19	21,58	22,92	24,01	24,82	25,35	25,81	24,76	23,8	27,87	29,86	30,71	32,53	33,22	34,39	33,96
LC-2R1B8-2.75 (90 mm)	21,24	21,5	22,62	23,82	24,78	25,35	26,56	25,93	26,67	26,33	26,03	26,93	29,59	29,83	30,92	31,16	31,75	32,66	33,14
LC-2R1B8-3.5 (90 mm)	15,33	16,8	17,99	18,82	20,13	21,27	22,33	21,46	22,17	21,58	20,09	21,43	24,05	26,19	29,45	32,11	31,31	32,99	37,35

Şekil 4.47: İki hacim kauçuk agregalı ve bir hacim barit agregalı (2R1B) numunelerin agrega/bağlayıcı oranının artması ve azalmasına bağlı 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları (90 mm)

- 120 mm kalınlığındaki numunelerin ses iletim kaybı

120 mm kalınlığında 2000 Hz'e kadar 2.75 harcında en yüksek ses iletim kaybı değeri elde edilmişse de 2000 Hz'e kadar tüm harçlarda yakın değerler elde edilmiştir. 2000 Hz'den sonra 2 harcı en yüksek ses iletim kaybı değerini almış 3.5 harcında ses iletim kaybı değerleri arasındaki fark 7 dB'e kadar çıkmıştır (Şekil 4.48).

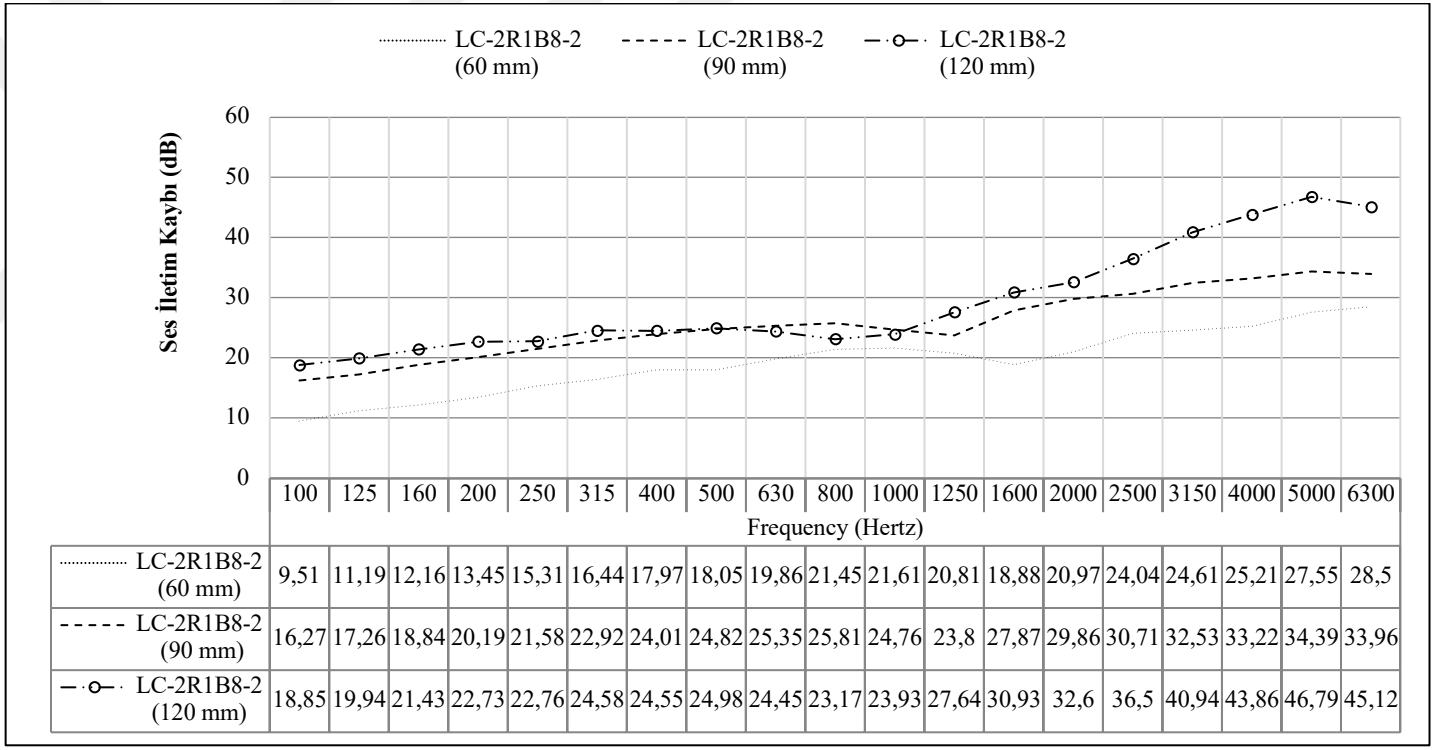


	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300
LC-2R1B8-2 (120 mm)	18,85	19,94	21,43	22,73	22,76	24,58	24,55	24,98	24,45	23,17	23,93	27,64	30,93	32,6	36,5	40,94	43,86	46,79	45,12
LC-2R1B8-2.75 (120 mm)	20,45	20,96	22,81	24,18	25,17	26,26	26,07	26,01	26,05	25,49	27,03	30,09	31,66	33,71	35,81	37,96	40,03	44,08	44,14
LC-2R1B8-3.5 (120 mm)	16,98	18,11	19,08	20,35	21,24	22,19	22,34	22,33	21,36	19,62	22,54	26,75	29,49	29,76	30,88	33,59	41,19	43,09	44,88

Şekil 4.48: İki hacim kauçuk agregalı ve bir hacim barit agregalı (2R1B) numunelerin agrega/bağlayıcı oranının artması ve azalmasına bağlı 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları (120 mm)

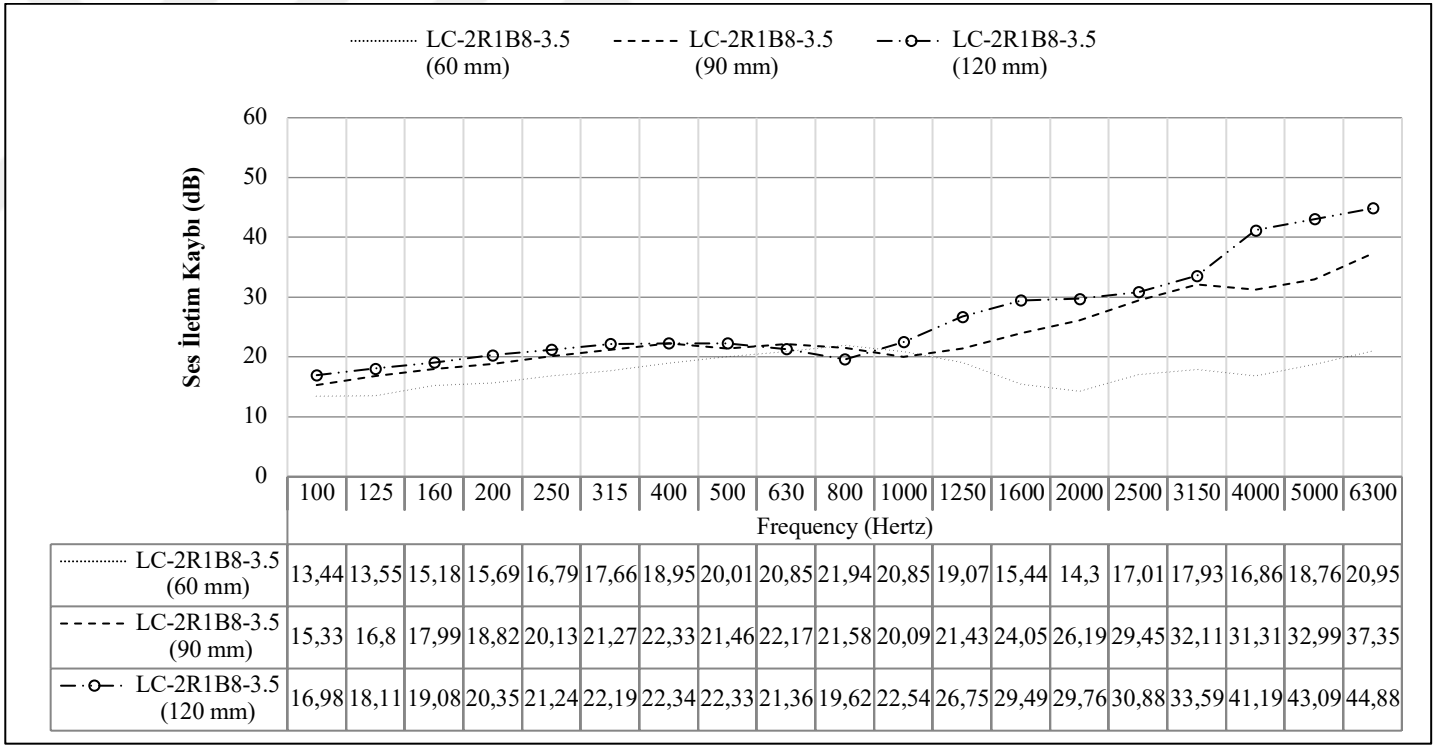
- Kalınlık artışının numunenin ses iletim kaybı değerine etkisi

60 mm'den 120mm'ye artan kalınlık 2, 2.75 ve 3.5 harçlarında ses geçiş kaybı değerlerini de artırmıştır. Bu durum harçlarda artan yüzey yoğunluğunun ses geçiş kaybı değerlerini de artırdığı şeklinde yorumlanabilir. Ancak 2.75 harcında artan kalınlığın etkisi daha çok yüksek frekanslarda olmuştur ve diğer frekanslarda değerler birbirlerine çok yakındır denilebilir (Şekil 4.49 ve Şekil 4.50).



	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300
LC-2R1B8-2 (60 mm)	9,51	11,19	12,16	13,45	15,31	16,44	17,97	18,05	19,86	21,45	21,61	20,81	18,88	20,97	24,04	24,61	25,21	27,55	28,5
LC-2R1B8-2 (90 mm)	16,27	17,26	18,84	20,19	21,58	22,92	24,01	24,82	25,35	25,81	24,76	23,8	27,87	29,86	30,71	32,53	33,22	34,39	33,96
LC-2R1B8-2 (120 mm)	18,85	19,94	21,43	22,73	22,76	24,58	24,55	24,98	24,45	23,17	23,93	27,64	30,93	32,6	36,5	40,94	43,86	46,79	45,12

Şekil 4.49: Farklı kalınlıklarda (60-90-120 mm) iki hacim kauçuk agregalı ve bir hacim barit agregalı (2R1B8-2) numunelerin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları.



	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300
LC-2R1B8-3.5 (60 mm)	13,44	13,55	15,18	15,69	16,79	17,66	18,95	20,01	20,85	21,94	20,85	19,07	15,44	14,3	17,01	17,93	16,86	18,76	20,95
LC-2R1B8-3.5 (90 mm)	15,33	16,8	17,99	18,82	20,13	21,27	22,33	21,46	22,17	21,58	20,09	21,43	24,05	26,19	29,45	32,11	31,31	32,99	37,35
LC-2R1B8-3.5 (120 mm)	16,98	18,11	19,08	20,35	21,24	22,19	22,34	22,33	21,36	19,62	22,54	26,75	29,49	29,76	30,88	33,59	41,19	43,09	44,88

Şekil 4.50: Farklı kalınlıklarda (60-90-120 mm) iki hacim kauçuk agregalı ve bir hacim barit agregalı (2R1B8-3.5) numunelerin 1/3 oktav bantlarda empedans tüpü ses iletim kaybı (STL) sonuçları.

4.3 INSUL Programı Simülasyon Sonuçları ve Empedans Tüpü Sonuçları Arasındaki İlişkinin Kurulması

Empedans tüpü sonuçları ve INSUL simülasyon programı sonuçları arasındaki ilişkiyi bulmak için korelasyona bakılmıştır. Bulunan bulgular tüm denklemi açıklıyor mu düşüncesiyle regresyona bakılmıştır. Korelasyon ve regresyon analizleri SPSS-27 programı aracılığı ile yapılıp yorumlanmıştır. Buna bağlı olarak empedans tüpü sonuçları ve INSUL simülasyon programı arasında anlamlı bir ilişkinin olduğu anlaşılmıştır. Korelasyon ve regresyon analizi sonuçları aşağıdaki başlıklarda bulunmaktadır:

4.3.1 Analiz özeti

Sonuçlar ve numune kalınlıkları için frekans çizelgesi oluşturulmuştur (Çizelge 4.14). Değişkenlerin grup ortalamalarındaki farklılıkları görebilmek için değişkenlerde parametrik testler için yeterli gözlem sayısı olmadığından 2 gruplu değişkenlerde (empedans tüpü ve INSUL) Mann Whitney U analizi, 3 ve daha fazla gruplu değişkenlerde (kalınlık) ise non-parametrik Kruskal Wallis-H analizi uygulanmıştır. Mann-Whitney U testi, iki bağımsız örneklem grubunun ortalamaları arasındaki istatistiksel olarak anlamlı farklılığı belirlemek için kullanılan bir non-parametrik testtir. Bu test, gruplardan biri veya her iki grubun da normal dağılıma uymadığı durumlarda kullanılır. Non-parametrik testler, verilerin dağılımı hakkında belirli varsayımlar yapmadan uygulanabilir. Kruskal-Wallis H analizi, bağımsız üç veya daha fazla grup arasındaki istatistiksel olarak anlamlı bir farkın olup olmadığını belirlemek için kullanılan bir non-parametrik testtir. Bu test, gruplardan en az birinin dağılımının normal olmadığı veya parametrik testlerin kullanımına uygun olmadığı durumlar için uygundur. Empedans tüpü ve INSUL ölçümlerinin birbirleri arasındaki ilişkinin yönünü ve gücünü tespit edebilmek için “pearson korelasyon analizi” uygulanmıştır. Analizler alfa (p)=0.05 seviyesinde uygulanmıştır ve 0.05’ten büyük sonuçlar normal olarak kabul edilmektedir. Korelasyon analizlerinde geçen “r” değeri 0.01’den küçükse, değişkenlerden biri artarken diğer azalmakta demektir. 0.01’den büyükse iki değişkenin birlikte değişim yönünün aynı olduğunu (iki değişkenin birlikte artıp azaldığını) göstermektedir.

Çizelge 4.14: Numune kalınlıklarına bağlı frekanslar için normallik varsayımı analizi.

Değişken	n	Ort.	SS	Kolmogorov Smirnov (p)	Çarpıklık	Basıklık
Frekans 100 Hz	42	28.85	10.296	.000	-.139	-1.498
Frekans 125 Hz	42	29.62	10.280	.001	-.175	-1.441
Frekans 160 Hz	42	30.43	9.729	.002	-.059	-1.527
Frekans 200 Hz	42	30.96	9.385	.003	-.010	-1.474
Frekans 250 Hz	42	31.60	9.116	.003	.091	-1.411
Frekans 315 Hz	42	32.16	9.038	.002	.208	-1.417
Frekans 400 Hz	42	33.17	8.965	.000	.195	-1.431
Frekans 500 Hz	42	33.76	9.548	.000	.223	-1.520
Frekans 630 Hz	42	34.78	9.896	.000	.252	-1.466
Frekans 800 Hz	42	35.46	10.845	.000	.318	-1.357
Frekans 1000 Hz	42	36.61	11.811	.000	.244	-1.371
Frekans 1250 Hz	42	38.34	12.449	.020	.205	-1.250
Frekans 1600 Hz	42	40.57	12.828	.010	.120	-1.288
Frekans 2000 Hz	42	41.77	14.112	.011	.043	-1.332
Frekans 2500 Hz	42	43.41	14.658	.015	.030	-1.385
Frekans 3150 Hz	42	45.53	14.651	.019	.049	-1.400
Frekans 4000 Hz	42	46.95	15.312	.052*	-.031	-1.423
Frekans 5000 Hz	42	49.07	15.111	.036	-.069	-1.441
R_w Sonuçları dB (Total)	42	36.78	10.351	.000	.121	-1.518

* p>0.05

Çizelge 4.14'te numune kalınlıklarına bağlı frekanslar için normallik varsayımı analizi yer almaktadır. Kolmogorov-Smirnov Analizi incelendiğinde frekans (4000 Hz) ölçümünün normal dağılım gösterdiği görülmektedir (p>0.05). Diğer ölçüm değerlerinin basıklık ve çarpıklık değerleri -2; +2 sınırını aşmadığından analizlerde non-parametrik testler (Mann-Whitney U ve Kruskal Wallis-H Analizi) kullanılmıştır (George ve Mallery, 2010).

Çizelge 4.15: Normallik varsayımı analizi (Empedans tüpü için).

Ölçek	n	Ort.	SS	Kolmogorov Smirnov (p)	Çarpıklık	Basıklık
Frekans 100 Hz	21	19.47	4.711	.200*	.306	.832
Frekans 125 Hz	21	20.25	4.771	.200*	-.035	.993
Frekans 160 Hz	21	21.54	4.036	.200*	.322	1.668
Frekans 200 Hz	21	22.45	3.812	.200*	.119	1.200
Frekans 250 Hz	21	23.44	3.531	.080*	.113	1.205
Frekans 315 Hz	21	24.28	3.344	.046	.380	1.411
Frekans 400 Hz	21	25.25	3.113	.119*	.080	1.957
Frekans 500 Hz	21	25.05	2.442	.068*	-.549	.796
Frekans 630 Hz	21	25.80	2.659	.200*	.682	2.379
Frekans 800 Hz	21	25.74	2.964	.071*	1.254	3.407
Frekans 1000 Hz	21	26.08	3.736	.154*	.349	2.543
Frekans 1250 Hz	21	27.44	4.686	.200*	-.183	-.084
Frekans 1600 Hz	21	29.68	6.230	.200*	.779	.174
Frekans 2000 Hz	21	29.73	7.228	.200*	.791	.308
Frekans 2500 Hz	21	30.78	7.329	.200*	.799	-.042
Frekans 3150 Hz	21	33.01	7.407	.080*	.909	.314
Frekans 4000 Hz	21	34.01	8.518	.046	.956	.418
Frekans 5000 Hz	21	36.47	8.982	.119*	1.020	.477
R_w sonuçları dB (Total)	21	27.28	3.363	.068*	.693	2.717

* p>0.05

Çizelge 4.15'te empedans tüpü ölçümlerinin normallik analizleri yer almaktadır. Kolmogorov-Smirnov Analizi incelendiğinde frekans (315 Hz) ve frekans (4000 Hz) ölçüm değerleri hariç diğerlerinin normal dağılım gösterdiği görülmektedir (p>0.05). Frekans (315 Hz) ve frekans (4000 Hz) ölçüm değerleri basıklık ve çarpıklık değerleri -2; +2 sınırını aşmadığından analizlerde non-parametrik testler (Mann-Whitney U ve Kruskal Wallis-H Analizi) kullanılmıştır. (George ve Mallery, 2010).

Çizelge 4.16: Normallik varsayımı analizi (INSUL simülasyon programı için).

Ölçek	n	Ort.	SS	Kolmogorov Smirnov (p)	Çarpıklık	Basıklık
Frekans 100 Hz	21	38.23	3.207	.200*	.304	-.164
Frekans 125 Hz	21	39.00	3.082	.200*	.181	-.385
Frekans 160 Hz	21	39.33	3.396	.200*	.064	-.751
Frekans 200 Hz	21	39.47	3.723	.200*	-.095	-.649
Frekans 250 Hz	21	39.76	4.265	.200*	-.139	-.771
Frekans 315 Hz	21	40.04	5.084	.200*	-.505	-.690
Frekans 400 Hz	21	41.09	4.826	.200*	-.501	-.456
Frekans 500 Hz	21	42.47	4.643	.200*	-.226	-.818
Frekans 630 Hz	21	43.76	4.938	.200*	-.018	-.299
Frekans 800 Hz	21	45.19	5.810	.200*	.198	-.651
Frekans 1000 Hz	21	47.14	6.255	.200*	-.117	-.064
Frekans 1250 Hz	21	49.23	6.818	.200*	-.043	-.666
Frekans 1600 Hz	21	51.47	7.011	.200*	-.039	-.824
Frekans 2000 Hz	21	53.80	7.201	.200*	-.066	-.809
Frekans 2500 Hz	21	56.04	7.186	.200*	-.069	-1.049
Frekans 3150 Hz	21	58.04	7.499	.200*	-.218	-.966
Frekans 4000 Hz	21	59.90	7.489	.200*	-.293	-.977
Frekans 5000 Hz	21	61.66	7.371	.200*	-.383	-.947
R_w sonuçları dB (Total)	21	46.28	4.337	.200*	.326	-.263

* p>0.05

Çizelge 4.16'da INSUL simülasyon programı için normallik analizleri yer almaktadır. Kolmogorov-Smirnov Analizi incelendiğinde tüm frekans ölçüm değerlerinin normal dağılım gösterdiği görülmektedir (p>0.05). Analizlerde non-parametrik testler (Mann-Whitney U ve Kruskal Wallis-H Analizi) kullanılacaktır.

Çizelge 4.17: Bilgiler çizelgesi.

Değişken	Grup	n	Yüzde (%)
Ölçüm Türü	Empedans Tüpü	21	%50.0
	INSUL	21	%50.0
Kalınlık	60 mm	14	%33.3
	90 mm	14	%33.3
	120 mm	14	%33.3

Çizelge 4.17'de ölçüm türü ve kalınlık değişkenlerine göre bilgiler verilmiştir.

Çizelge 4.18: Ölçüm türü değişkeni Mann-Whitney U test çizelgesi.

Ölçek	Grup	n	Ort.	SS	z	Sd	p
Frekans 100 Hz	Empedans Tüpü	21	19.47	4.711	-5.552	40	.000*
	Insul	21	38.23	3.207			
Frekans 125 Hz	Empedans Tüpü	21	20.25	4.771	-5.553	40	.000*
	Insul	21	39.00	3.082			
Frekans 160 Hz	Empedans Tüpü	21	21.54	4.036	-5.551	40	.000*
	Insul	21	39.33	3.396			
Frekans 200 Hz	Empedans Tüpü	21	22.45	3.812	-5.525	40	.000*
	Insul	21	39.47	3.723			
Frekans 250 Hz	Empedans Tüpü	21	23.44	3.531	-5.523	40	.000*
	Insul	21	39.76	4.265			
Frekans 315 Hz	Empedans Tüpü	21	24.28	3.344	-5.475	40	.000*
	Insul	21	40.04	5.084			
Frekans 400 Hz	Empedans Tüpü	21	25.25	3.113	-5.500	40	.000*
	Insul	21	41.09	4.826			
Frekans 500 Hz	Empedans Tüpü	21	25.05	2.442	-5.550	40	.000*
	Insul	21	42.47	4.643			
Frekans 630 Hz	Empedans Tüpü	21	25.80	2.659	-5.551	40	.000*
	Insul	21	43.76	4.938			
Frekans 800 Hz	Empedans Tüpü	21	25.74	2.964	-5.549	40	.000*
	Insul	21	45.19	5.810			
Frekans 1000 Hz	Empedans Tüpü	21	26.08	3.736	-5.523	40	.000*
	Insul	21	47.14	6.255			
Frekans 1250 Hz	Empedans Tüpü	21	27.44	4.686	-5.523	40	.000*
	Insul	21	49.23	6.818			
Frekans 1600 Hz	Empedans Tüpü	21	29.68	6.230	-5.397	40	.000*
	Insul	21	51.47	7.011			
Frekans 2000 Hz	Empedans Tüpü	21	29.73	7.228	-5.397	40	.000*
	Insul	21	53.80	7.201			
Frekans 2500 Hz	Empedans Tüpü	21	30.78	7.329	-5.473	40	.000*
	Insul	21	56.04	7.186			
Frekans 3150 Hz	Empedans Tüpü	21	33.01	7.407	-5.423	40	.000*
	Insul	21	58.04	7.499			
Frekans 4000 Hz	Empedans Tüpü	21	34.01	8.518	-5.296	40	.000*
	Insul	21	59.90	7.489			
Frekans 5000 Hz	Empedans Tüpü	21	36.47	8.982	-5.247	40	.000*
	Insul	21	61.66	7.371			
R_w Sonuçları dB (Total)	Empedans Tüpü	21	27.28	3.363	-5.58	40	.000*
	Insul	21	46.28	4.337			

*p<0.05

Çizelge 4.18'de ölçüm türü değişkeni için Bağımsız Örneklem Mann-Whitney U Test Analizi sonuçları verilmiştir. Çizelgelerdeki (Çizelge 4.18-4.24) kısaltmalarda SS; standart sapmayı, Sd; serbestlik derecesini, z: bir verinin ortalama ve standart sapma değerlerine bağlı ifade edilen bir değeri temsil etmektedir. Bir verinin z puanı, verinin bulunduğu dağılımdaki konumunu standart sapma birimleri cinsinden gösterir. Bu değer, verinin ortalamadan kaç standart sapma uzaklıkta olduğunu gösterir. Pozitif bir z değeri, ortalamanın üzerinde olduğunu, negatif bir z değeri ise ortalamanın altında olduğunu gösterir. Ölçüm türü değişkenine göre Frekans 100 - 5000 Hz ve R_w (dB)

sonuçları puanı istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde farklılık göstermektedir (p=.000<0.05). INSUL sonuçlarının Frekans 100 - 5000 Hz ve R_w (dB) sonuçları puanı ortalaması, empedans tüpü sonuçlarının ortalamasından anlamlı bir şekilde farklı ve büyüktür.

Çizelge 4.19: Kalınlık değişkeni Kruskal Wallis-H analizi.

Ölçek	Grup	n	Ort.	SS	SD	H	p
Frekans 100 Hz	60mm	14	26.29	10.424	2	2.513	.285
	90mm	14	29.55	10.283			
	120mm	14	30.71	10.422			
	Toplam	42	28.85	10.296			
Frekans 125 Hz	60mm	14	27.32	10.749	2	1.636	.441
	90mm	14	30.45	10.263			
	120mm	14	31.11	10.177			
	Toplam	42	29.62	10.280			
Frekans 160 Hz	60mm	14	28.60	10.158	2	1.292	.524
	90mm	14	31.16	9.802			
	120mm	14	31.54	9.681			
	Toplam	42	30.43	9.729			
Frekans 200 Hz	60mm	14	29.48	10.088	2	1.073	.585
	90mm	14	31.07	9.206			
	120mm	14	32.32	9.321			
	Toplam	42	30.96	9.385			
Frekans 250 Hz	60mm	14	29.93	9.531	2	1.590	.452
	90mm	14	31.46	8.699			
	120mm	14	33.41	9.435			
	Toplam	42	31.60	9.116			
Frekans 315 Hz	60mm	14	29.88	8.689	2	1.950	.377
	90mm	14	32.49	9.150			
	120mm	14	34.12	9.411			
	Toplam	42	32.16	9.038			
Frekans 400 Hz	60mm	14	30.63	8.436	2	1.372	.504
	90mm	14	33.98	8.806			
	120mm	14	34.90	9.692			
	Toplam	42	33.17	8.965			
Frekans 500 Hz	60mm	14	31.64	8.869	2	1.697	.428
	90mm	14	34.13	9.337			
	120mm	14	35.51	10.649			
	Toplam	42	33.76	9.548			
Frekans 630 Hz	60mm	14	33.03	8.723	2	.990	.610
	90mm	14	34.97	9.769			
	120mm	14	36.34	11.463			
	Toplam	42	34.78	9.896			
Frekans 800 Hz	60mm	14	33.29	8.612	2	.774	.679
	90mm	14	35.68	10.742			
	120mm	14	37.41	13.123			
	Toplam	42	35.46	10.845			
Frekans 1000 Hz	60mm	14	34.66	8.686	2	.250	.882
	90mm	14	37.03	11.935			
	120mm	14	38.14	14.672			
	Toplam	42	36.61	11.811			
Frekans 1250 Hz	60mm	14	36.08	9.350	2	.445	.800
	90mm	14	38.71	12.769			
	120mm	14	40.22	15.129			
	Toplam	42	38.34	12.449			

*p<0.05

Çizelge 4.19'da kalınlık değişkeni Kruskal Wallis-H Analizi sonuçları verilmiştir. Milimetre tipi değişkeni gruplarına göre Frekans 100 - 1250 Hz puanı istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde farklılık göstermemektedir (p=değer>0.05).

Çizelge 4.20: Kalınlık değişkeni Kruskal Wallis-H analizi.

Ölçek	Grup	n	Ort.	SS	SD	H	p
Frekans	60mm	14	39.11	9.449	2	.188	.910
1600 Hz	90mm	14	41.56	12.649			
	120mm	14	41.05	16.314			
	Toplam	42	40.57	12.828			
Frekans	60mm	14	40.06	11.054	2	.254	.881
2000 Hz	90mm	14	43.22	13.589			
	120mm	14	42.03	17.770			
	Toplam	42	41.77	14.112			
Frekans	60mm	14	41.85	11.968	2	.231	.891
2500 Hz	90mm	14	44.36	14.801			
	120mm	14	44.01	17.643			
	Toplam	42	43.41	14.658			
Frekans	60mm	14	43.85	12.031	2	.345	.842
3150 Hz	90mm	14	46.83	14.640			
	120mm	14	45.91	17.689			
	Toplam	42	45.53	14.651			
Frekans	60mm	14	45.38	13.546	2	.373	.830
4000 Hz	90mm	14	47.87	15.427			
	120mm	14	47.62	17.717			
	Toplam	42	46.95	15.312			
Frekans	60mm	14	47.52	13.792	2	.343	.843
5000 Hz	90mm	14	49.89	15.140			
	120mm	14	49.79	17.230			
	Toplam	42	49.07	15.111			
R_w	60mm	14	34.92	8.462	2	.982	.612
Sonuçları	90mm	14	37.50	10.067			
dB (Total)	120mm	14	37.92	12.621			
	Toplam	42	36.78	10.351			

*p<0.05

Çizelge 4.20'de kalınlık değişkeni Kruskal Wallis-H Analizi sonuçları verilmiştir.

Kalınlık değişkeni gruplarına göre Frekans 1600 - 5000 Hz ve R_w (dB) sonuçları puanı istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde farklılık göstermemektedir (p=değer>0.05).

Çizelge 4.21: Empedans tüpü için kalınlık değişkeni Kruskal Wallis-H analizi.

Ölçek	Grup	n	Ort.	SS	SD	H	p
Frekans	60 mm	7	16.88	4.756	2	2.768	.251
100 Hz	90 mm	7	20.39	5.202			
	120 mm	7	21.15	3.492			
	Toplam	21	19.47	4.711			
Frekans	60 mm	7	17.64	5.075	2	2.167	.338
125 Hz	90 mm	7	21.34	5.338			
	120 mm	7	21.79	3.086			
	Toplam	21	20.25	4.771			

*p<0.05

Çizelge 4.21 (devamı): Empedans tüpü için kalınlık değişkeni Kruskal Wallis-H analizi.

Ölçek	Grup	n	Ort.	SS	SD	H	p
Frekans	60 mm	7	19.35	4.120	2	2.968	.227
160 Hz	90mm	7	22.47	4.841			
	120mm	7	22.79	2.331			
	Toplam	21	21.54	4.036			
Frekans	60mm	7	20.26	4.004	2	3.273	.195
200 Hz	90mm	7	23.29	4.455			
	120mm	7	23.79	2.011			
	Toplam	21	22.45	3.812			
Frekans	60mm	7	21.44	3.690	2	3.592	.166
250 Hz	90mm	7	24.20	4.236			
	120mm	7	24.69	1.682			
	Toplam	21	23.44	3.531			
Frekans	60mm	7	22.77	3.577	2	3.273	.195
315 Hz	90mm	7	24.55	4.217			
	120mm	7	25.53	1.456			
	Toplam	21	24.28	3.344			
Frekans	60mm	7	23.70	3.570	2	.841	.657
400 Hz	90mm	7	26.10	3.718			
	120mm	7	25.94	1.242			
	Toplam	21	25.25	3.113			
Frekans	60mm	7	23.86	3.124	2	1.440	.487
500 Hz	90mm	7	25.56	2.523			
	120mm	7	25.73	1.120			
	Toplam	21	25.05	2.442			
Frekans	60mm	7	25.21	3.208	2	.230	.891
630 Hz	90mm	7	26.37	3.349			
	120mm	7	25.82	1.132			
	Toplam	21	25.80	2.659			
Frekans	60mm	7	25.59	2.819	2	.096	.953
800 Hz	90mm	7	26.21	4.033			
	120mm	7	25.41	2.159			
	Toplam	21	25.74	2.964			
Frekans	60mm	7	27.04	2.524	2	2.293	.318
1000 Hz	90mm	7	26.48	4.941			
	120mm	7	24.71	3.506			
	Toplam	21	26.08	3.736			
Frekans	60mm	7	28.31	4.795	2	.824	.662
1250 Hz	90mm	7	27.57	5.681			
	120mm	7	26.45	3.986			
	Toplam	21	27.44	4.686			

*p<0.05

Çizelge 4.21'de empedans tüpü için kalınlık değişkeni Kruskal Wallis-H Analizi sonuçları verilmiştir.

Kalınlık değişkenine göre frekans 100-1250 Hz puanı istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde farklılık göstermemektedir (p=değer>0.05).

Çizelge 4.22: Empedans için kalınlık değişkeni Kruskal Wallis-H analizi (devamı).

Ölçek	Grup	n	Ort.	SS	SD	H	p
Frekans	60mm	7	31.80	6.463	2	2.494	.287
1600 Hz	90mm	7	30.98	6.860			
	120mm	7	26.25	4.423			
	Toplam	21	29.68	6.230			
Frekans	60mm	7	31.27	7.280	2	2.545	.280
2000 Hz	90mm	7	32.02	8.160			
	120mm	7	25.91	5.357			
	Toplam	21	29.73	7.228			
Frekans	60mm	7	32.14	7.678	2	1.158	.561
2500 Hz	90mm	7	32.16	8.811			
	120mm	7	28.03	5.410			
	Toplam	21	30.78	7.329			
Frekans	60mm	7	34.27	7.678	2	.942	.624
3150 Hz	90mm	7	34.81	8.658			
	120mm	7	29.96	5.700			
	Toplam	21	33.01	7.407			
Frekans	60mm	7	34.90	9.682	2	.230	.891
4000 Hz	90mm	7	35.45	10.282			
	120mm	7	31.67	5.712			
	Toplam	21	34.01	8.518			
Frekans	60mm	7	37.19	10.531	2	.208	.901
5000 Hz	90mm	7	37.79	10.269			
	120mm	7	34.44	6.718			
	Toplam	21	36.47	8.982			
R_w	60mm	7	27.14	2.544	2	.184	.912
Sonuçları	90mm	7	28.42	3.994			
dB (Total)	120mm	7	26.28	3.545			
	Toplam	21	27.28	3.363			

*p<0.05

Çizelge 4.22'de empedans tüpü için kalınlık değişkeni Kruskal Wallis-H Analizi sonuçları verilmiştir. Kalınlık değişkeni gruplarına göre frekans 1600-5000 Hz ve R_w (dB) sonuçları puanı istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde farklılık göstermemektedir (p=değer>0.05).

Çizelge 4.23: INSUL programı için kalınlık değişkeni Kruskal Wallis-H analizi.

Ölçek	Grup	n	Ort.	SS	SD	H	p
Frekans	60mm	7	35.71	2.429	2	7.776	.020*
100 Hz	90mm	7	38.71	2.497			
	120mm	7	40.28	3.093			
	Toplam	21	38.23	3.207			
Frekans	60mm	7	37.00	2.449	2	4.601	.100
125 Hz	90mm	7	39.57	2.439			
	120mm	7	40.42	3.505			
	Toplam	21	39.00	3.082			
Frekans	60mm	7	37.85	2.609	2	2.247	.325
160 Hz	90mm	7	39.85	2.911			
	120mm	7	40.28	4.386			
	Toplam	21	39.33	3.396			

*p<0.05

Çizelge 4.23 (devamı): INSUL programı için kalınlık değişkeni Kruskal Wallis-H analizi.

Ölçek	Grup	n	Ort.	SS	SD	H	p
Frekans	60mm	7	38.71	2.429	2	1.222	.543
200 Hz	90mm	7	38.85	4.740			
	120mm	7	40.85	3.804			
	Toplam	21	39.47	3.723			
Frekans	60mm	7	38.42	3.866	2	2.853	.240
250 Hz	90mm	7	38.71	4.820			
	120mm	7	42.14	3.532			
	Toplam	21	39.76	4.265			
Frekans	60mm	7	37.00	5.715	2	4.322	.115
315 Hz	90mm	7	40.42	4.076			
	120mm	7	42.71	4.191			
	Toplam	21	40.04	5.084			
Frekans	60mm	7	37.57	5.411	2	5.069	.079
400 Hz	90mm	7	41.85	3.078			
	120mm	7	43.85	3.848			
	Toplam	21	41.09	4.826			
Frekans	60mm	7	39.42	4.391	2	6.126	.047*
500 Hz	90mm	7	42.71	3.302			
	120mm	7	45.28	4.644			
	Toplam	21	42.47	4.643			
Frekans	60mm	7	40.85	3.436	2	5.371	.068
630 Hz	90mm	7	43.57	4.790			
	120mm	7	46.85	5.047			
	Toplam	21	43.76	4.938			
Frekans	60mm	7	41.00	3.785	2	7.175	.028*
800 Hz	90mm	7	45.14	4.980			
	120mm	7	49.42	5.652			
	Toplam	21	45.19	5.810			

*p<0.05

Çizelge 4.23'te INSUL programı için kalınlık değişkeni Kruskal Wallis-H Analizi sonuçları verilmiştir.

Kalınlık değişkenine göre frekans 100 Hz puanı istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde farklılık göstermektedir (p=.020<0.05). 120 mm numunelerin frekans 100 Hz Puanı ortalaması, 60 mm numunelerin frekans 100 Hz Puanı ortalamasından anlamlı bir şekilde farklı ve büyüktür.

Kalınlık değişkenine göre frekans 125-400 Hz puanı istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde farklılık göstermemektedir (p=.100>0.05).

Kalınlık değişkenine göre frekans 500 Hz puanı istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde farklılık göstermektedir (p=.047<0.05). 120 mm numunelerin frekans 500 Hz Puanı ortalaması, 60 mm numunelerin frekans 500 Hz Puanı ortalamasından anlamlı bir şekilde farklı ve büyüktür.

Kalınlık değişkenine göre frekans 800 Hz puanı istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde farklılık göstermektedir (p=.028<0.05). 120 mm numunelerin frekans 800 Hz Puanı ortalaması, 60 mm numunelerin frekans 800 Hz Puanı ortalamasından anlamlı bir şekilde farklı ve büyüktür.

Çizelge 4.24: INSUL programı için kalınlık değişkeni Kruskal Wallis-H analizi (devam).

Ölçek	Grup	n	Ort.	SS	SD	H	p
Frekans 1000 Hz	60mm	7	42.28	4.644	2	7.528	.023*
	90mm	7	47.57	4.995			
	120mm	7	51.57	5.769			
	Toplam	21	47.14	6.255			
Frekans 1250 Hz	60mm	7	43.85	5.047	2	7.443	.024*
	90mm	7	49.85	5.610			
	120mm	7	54.00	6.110			
	Total	21	49.23	6.818			
Frekans 1600 Hz	60mm	7	46.42	5.191	2	5.846	.054
	90mm	7	52.14	6.202			
	120mm	7	55.85	6.768			
	Toplam	21	51.47	7.011			
Frekans 2000 Hz	60mm	7	48.85	5.610	2	5.517	.063
	90mm	7	54.42	6.373			
	120mm	7	58.14	7.057			
	Toplam	21	53.80	7.201			
Frekans 2500 Hz	60mm	7	51.57	5.593	2	4.602	.100
	90mm	7	56.57	7.044			
	120mm	7	60.00	7.023			
	Toplam	21	56.04	7.186			
Frekans 3150 Hz	60mm	7	53.42	6.373	2	4.602	.100
	90mm	7	58.85	7.221			
	120mm	7	61.85	7.221			
	Toplam	21	58.04	7.499			
Frekans 4000 Hz	60mm	7	55.85	6.914	2	4.196	.123
	90mm	7	60.28	7.087			
	120mm	7	63.57	7.345			
	Toplam	21	59.90	7.489			
Frekans 5000 Hz	60mm	7	57.85	7.221	2	3.957	.138
	90mm	7	62.00	7.023			
	120mm	7	65.14	6.962			
	Toplam	21	61.66	7.371			
R_w Sonuçları dB (Total)	60mm	7	42.71	2.690	2	9.188	.010*
	90mm	7	46.57	3.408			
	120mm	7	49.57	4.035			
	Toplam	21	46.28	4.337			

*p<0.05

Çizelge 4.24'te INSUL programı için kalınlık değişkeni Kruskal Wallis-H Analizi sonuçları verilmiştir.

Kalınlık değişkenine göre frekans 1000 Hz puanı istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde farklılık göstermektedir (p=.023<0.05). 120 mm numunelerin frekans 1000 Hz Puanı

ortalaması, 60 mm numunelerin frekans 1000 Hz Puanı ortalamasından anlamlı bir şekilde farklı ve büyüktür.

Kalınlık değişkenine göre frekans 1250 Hz puanı istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde farklılık göstermektedir (p=.024<0,05). 120 mm numunelerin frekans 1250 Hz Puanı ortalaması, 60 mm numunelerin frekans 1250 Hz Puanı ortalamasından anlamlı bir şekilde farklı ve büyüktür.

Kalınlık değişkenine göre frekans 1600-5000 Hz puanı istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde farklılık göstermemektedir (p=.054>0.05).

Kalınlık değişkenine göre R_w Sonuçları dB (Total) puanı istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde farklılık göstermektedir (p=.010<0.05). 120 mm numunelerin R_w Sonuçları dB (Total) Puanı ortalaması, 60 mm numunelerin R_w Sonuçları dB (Total) Puanı ortalamasından anlamlı bir şekilde farklı ve büyüktür.

Çizelge 4.25: Empedans tüpü ve INSUL frekansları korelasyon analizi.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Frekans 100 Hz (1)	1																		
Frekans 125 Hz (2)	.996**	1																	
	.000																		
Frekans 160 Hz (3)	.985**	.993**	1																
	.000	.000																	
Frekans 200 Hz (4)	.970**	.978**	.990**	1															
	.000	.000	.000																
Frekans 250 Hz (5)	.960**	.965**	.975**	.990**	1														
	.000	.000	.000	.000															
Frekans 315 Hz (6)	.942**	.941**	.945**	.956**	.977**	1													
	.000	.000	.000	.000	.000														
Frekans 400 Hz (7)	.947**	.940**	.936**	.937**	.954**	.974**	1												
	.000	.000	.000	.000	.000	.000													
Frekans 500 Hz (8)	.953**	.943**	.933**	.925**	.934**	.946**	.985**	1											
	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000												
Frekans 630 Hz (9)	.952**	.940**	.923**	.906**	.908**	.915**	.958**	.986**	1										
	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000											
Frekans 800 Hz (10)	.944**	.931**	.910**	.883**	.878**	.879**	.921**	.955**	.983**	1									
	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000										
Frekans 1000 Hz	.926**	.914**	.895**	.864**	.857**	.856**	.893**	.930**	.961**	.988**	1								
(11)	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000									
Frekans 1250 Hz	.904**	.890**	.872**	.837**	.830**	.825**	.860**	.901**	.934**	.963**	.989**	1							
(12)	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000								
Frekans 1600 Hz	.838**	.826**	.810**	.772**	.764**	.762**	.802**	.852**	.890**	.921**	.961**	.981**	1						
(13)	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000							
Frekans 2000 Hz	.839**	.828**	.813**	.776**	.767**	.762**	.801**	.850**	.887**	.918**	.958**	.976**	.996**	1					
(14)	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000						
Frekans 2500 Hz	.845**	.834**	.818**	.782**	.770**	.766**	.802**	.853**	.891**	.922**	.960**	.977**	.992**	.997**	1				
(15)	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000					
Frekans 3150 Hz	.838**	.828**	.811**	.772**	.759**	.752**	.790**	.842**	.883**	.916**	.955**	.974**	.992**	.997**	.998**	1			
(16)	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000				
Frekans 4000 Hz	.830**	.820**	.804**	.766**	.752**	.741**	.775**	.828**	.867**	.900**	.943**	.967**	.987**	.994**	.996**	.996**	1		
(16)	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000			
Frekans 5000 Hz	.813**	.802**	.787**	.749**	.734**	.719**	.754**	.809**	.847**	.882**	.928**	.955**	.979**	.988**	.990**	.992**	.997**	1	
(17)	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000		
R_w Sonuçları dB	.921**	.912**	.903**	.887**	.887**	.891**	.922**	.952**	.958**	.957**	.958**	.945**	.917**	.915**	.917**	.905**	.893**	.877**	1
(Total) (18)	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	

**r>0.01 *p>0.05

Çizelge 4.25’de empedans tüpü ve INSUL frekansları korelasyon analizi sonuçları verilmiştir. Buna göre frekans 100 Hz – 5000 Hz ile Frekans 125-5000 Hz ve R_w sonuçları arasında tek tek pozitif yönlü ve çok güçlü seviyede anlamlı bir ilişki vardır.

Çizelge 4.26: Empedans tüpü korelasyon analizi.

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**
Frekans 100 Hz (1)	1																		
Frekans 125 Hz (2)	.987**	1																	
	.000																		
Frekans 160 Hz (3)	.988**	.989**	1																
	.000	.000																	
Frekans 200 Hz (4)	.983**	.980**	.995**	1															
	.000	.000	.000																
Frekans 250 Hz (5)	.975**	.976**	.992**	.998**	1														
	.000	.000	.000	.000															
Frekans 315 Hz (6)	.920**	.929**	.948**	.951**	.955**	1													
	.000	.000	.000	.000	.000														
Frekans 400 Hz (7)	.946**	.957**	.974**	.980**	.983**	.949**	1												
	.000	.000	.000	.000	.000	.000													
Frekans 500 Hz (8)	.930**	.945**	.954**	.959**	.962**	.935**	.978**	1											
	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000												
Frekans 630 Hz (9)	.869**	.892**	.914**	.909**	.915**	.912**	.957**	.945**	1										
	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000											
Frekans 800 Hz (10)	.783**	.802**	.836**	.818**	.825**	.840**	.871**	.847**	.954**	1									
	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000										
Frekans 1000 Hz (11)	.465*	.496*	.534*	.494*	.510*	.565**	.542*	.511*	.676**	.812**	1								
	.034	.022	.013	.023	.018	.008	.011	.018	.001	.000									
Frekans 1250 Hz (12)	.287	.321	.359	.319	.342	.406	.340	.335	.458*	.571**	.909**	1							
	.206	.155	.110	.158	.129	.068	.131	.138	.037	.007	.000								
Frekans 1600 Hz (13)	-.123	-.074	-.052	-.111	-.094	-.021	-.093	-.101	.074	.210	.674**	.832**	1						
	.595	.748	.823	.631	.685	.928	.687	.662	.751	.361	.001	.000							
Frekans 2000 Hz (14)	-.097	-.050	-.026	-.084	-.067	-.011	-.062	-.081	.097	.239	.682**	.813**	.971**	1					
	.676	.831	.911	.717	.771	.962	.790	.726	.677	.297	.001	.000	.000						
Frekans 2500 Hz (15)	-.071	-.028	-.007	-.065	-.048	.021	-.057	-.073	.093	.247	.686**	.824**	.954**	.988**	1				
	.760	.903	.976	.778	.835	.927	.805	.753	.687	.280	.001	.000	.000	.000					
Frekans 3150 Hz (16)	-.071	-.024	.000	-.057	-.042	.015	-.052	-.072	.102	.249	.673**	.806**	.953**	.988**	.988**	1			
	.761	.917	.999	.806	.857	.950	.824	.758	.661	.276	.001	.000	.000	.000	.000				
Frekans 4000 Hz (17)	-.040	-.004	.015	-.045	-.030	.025	-.060	-.072	.072	.209	.645**	.810**	.936**	.971**	.985**	.984**	1		
	.865	.986	.947	.848	.897	.916	.797	.755	.758	.364	.002	.000	.000	.000	.000	.000			
Frekans 5000 Hz (18)	-.073	-.045	-.025	-.084	-.074	-.047	-.113	-.127	.002	.143	.590**	.763**	.907**	.947**	.959**	.965**	.986**	1	
	.753	.847	.916	.717	.749	.841	.626	.583	.993	.536	.005	.000	.000	.000	.000	.000	.000		
R_w Sonuçları dB (Total) (19)	.132	.168	.175	.180	.198	.251	.255	.271	.338	.375	.500*	.495*	.385	.387	.378	.317	.308	.256	1
	.568	.466	.449	.434	.391	.273	.264	.235	.134	.094	.021	.023	.085	.083	.091	.161	.175	.262	

** r>0.01 *p>0.05

Çizelge 4.26’da empedans tüpü ölçüm sonuçları ve frekanslar arasındaki korelasyon analizi sonuçları verilmiştir. Frekans 100 Hz – 5000 Hz ile Frekans 125-5000 Hz ve R_w sonuçları arasında tek tek pozitif yönlü ve çok güçlü seviyede anlamlı bir ilişki vardır.

Çizelge 4.27: INSUL korelasyon analizi.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Frekans 100 Hz (1)	1																		
Frekans 125 Hz (2)	.936**	1																	
	.000																		
Frekans 160 Hz (3)	.759**	.912**	1																
	.000	.000																	
Frekans 200 Hz (4)	.564**	.701**	.869**	1															
	.008	.000	.000																
Frekans 250 Hz (5)	.563**	.639**	.748**	.911**	1														
	.008	.002	.000	.000															
Frekans 315 Hz (6)	.606**	.597**	.601**	.696**	.868**	1													
	.004	.004	.004	.000	.000														
Frekans 400 Hz (7)	.596**	.508*	.437*	.462*	.647**	.848**	1												
	.004	.019	.047	.035	.002	.000													
Frekans 500 Hz (8)	.653**	.507*	.354	.304	.458*	.660**	.915**	1											
	.001	.019	.115	.180	.037	.001	.000												
Frekans 630 Hz (9)	.698**	.532*	.276	.151	.265	.441*	.708**	.895**	1										
	.000	.013	.225	.515	.245	.046	.000	.000											
Frekans 800 Hz (10)	.732**	.561**	.258	.053	.111	.247	.493*	.695**	.889**	1									
	.000	.008	.260	.818	.632	.281	.023	.000	.000										
Frekans 1000 Hz (11)	.763**	.594**	.287	.046	.078	.190	.412	.605**	.810**	.975**	1								
	.000	.005	.207	.842	.736	.409	.064	.004	.000	.000									
Frekans 1250 Hz (12)	.752**	.569**	.264	.005	.024	.108	.324	.521*	.734**	.914**	.969**	1							
	.000	.007	.247	.982	.916	.642	.151	.016	.000	.000	.000								
Frekans 1600 Hz (13)	.706**	.518*	.209	-.061	-.046	.033	.281	.496*	.723**	.894**	.950**	.993**	1						
	.000	.016	.363	.793	.842	.887	.218	.022	.000	.000	.000	.000							
Frekans 2000 Hz (14)	.692**	.505*	.193	-.078	-.072	.008	.255	.477*	.711**	.888**	.946**	.991**	.998**	1					
	.001	.020	.402	.735	.758	.971	.264	.029	.000	.000	.000	.000	.000						
Frekans 2500 Hz (15)	.650**	.454*	.139	-.134	-.137	-.045	.212	.452*	.702**	.889**	.944**	.980**	.990**	.993**	1				
	.001	.039	.549	.564	.555	.846	.357	.040	.000	.000	.000	.000	.000	.000					
Frekans 3150 Hz (16)	.629**	.437*	.123	-.162	-.168	-.089	.160	.400	.660**	.858**	.925**	.974**	.987**	.992**	.996**	1			
	.002	.048	.595	.483	.465	.701	.488	.072	.001	.000	.000	.000	.000	.000	.000				
Frekans 4000 Hz (17)	.619**	.435*	.121	-.160	-.173	-.125	.119	.368	.640**	.845**	.913**	.963**	.980**	.985**	.990**	.995**	1		
	.003	.049	.601	.489	.453	.590	.607	.101	.002	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000			
Frekans 5000 Hz (18)	.608**	.423	.115	-.163	-.195	-.153	.082	.338	.612**	.821**	.896**	.954**	.972**	.979**	.986**	.992**	.997**	1	
	.003	.056	.621	.479	.397	.508	.722	.134	.003	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000		
R_w Sonuçları dB (Total)	.854**	.696**	.448*	.282	.355	.489*	.701**	.842**	.893**	.892**	.870**	.826**	.794**	.783**	.766**	.730**	.714**	.691**	1
(19)	.000	.000	.042	.215	.114	.024	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.001	

**r<0.01 *p<0.05

Çizelge 4.27’de INSUL simülasyon programı sonuçları ve frekanslar arasındaki korelasyon analizi sonuçları verilmiştir. Frekans 100 Hz – 5000 Hz ile Frekans 125-5000 Hz ve R_w sonuçları arasında tek tek pozitif yönlü ve orta ve güçlü seviyelerde anlamlı bir ilişki vardır.

Çizelge 4.28: Empedans tüpü ile INSUL korelasyon analizi.

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**
Insul Frekans 100 Hz	-.005	.002	.022	.033	.032	.082	.007	-.006	-.078	-.136	-.282	-.185	-.126	-.076	-.025	-.036	-.005	-.021	-.034
	.984	.994	.924	.886	.891	.724	.976	.980	.737	.555	.215	.422	.587	.744	.915	.878	.984	.929	.882
Insul Frekans 125 Hz	.043	.036	.077	.081	.080	.127	.068	.042	.002	-.019	-.163	-.131	-.083	-.042	-.005	-.014	.006	-.005	.000
	.853	.878	.739	.728	.731	.583	.768	.855	.992	.934	.481	.573	.721	.857	.981	.953	.981	.983	1.000
Insul Frekans 160 Hz	.105	.069	.135	.140	.138	.196	.128	.088	.058	.060	-.032	-.043	-.062	-.039	-.013	-.038	-.012	-.019	.066
	.652	.768	.561	.545	.552	.394	.581	.704	.802	.797	.891	.852	.788	.867	.957	.870	.958	.933	.777
Insul Frekans 200 Hz	.208	.168	.239	.262	.261	.396	.258	.211	.204	.215	.125	.070	-.089	-.104	-.055	-.107	-.087	-.119	.232
	.366	.467	.297	.252	.252	.076	.258	.358	.374	.349	.590	.764	.701	.653	.813	.643	.706	.607	.311
Insul Frekans 250 Hz	.386	.378	.425	.450*	.462*	.583**	.460*	.441*	.406	.372	.201	.148	-.121	-.125	-.056	-.126	-.098	-.156	.305
	.084	.091	.055	.041	.035	.006	.036	.045	.067	.096	.383	.523	.602	.589	.809	.586	.674	.498	.179
Insul Frekans 315 Hz	.450*	.474*	.506*	.542*	.558**	.645**	.576**	.581**	.530*	.421	.204	.194	-.094	-.052	-.012	-.051	-.035	-.109	.411
	.041	.030	.019	.011	.009	.002	.006	.006	.014	.057	.376	.400	.686	.823	.960	.827	.881	.637	.064
Insul Frekans 400 Hz	.510*	.508*	.505*	.540*	.540*	.587**	.535*	.564**	.463*	.288	-.034	-.047	-.270	-.205	-.161	-.196	-.158	-.234	.177
	.018	.019	.020	.011	.011	.005	.012	.008	.035	.205	.885	.840	.237	.372	.487	.395	.494	.307	.443
Insul Frekans 500 Hz	.281	.276	.246	.280	.273	.301	.263	.318	.191	.008	-.298	-.260	-.370	-.319	-.273	-.309	-.259	-.317	.080
	.218	.225	.282	.219	.231	.184	.249	.160	.407	.971	.189	.255	.099	.158	.231	.172	.258	.161	.729
Insul Frekans 630 Hz	.145	.152	.104	.119	.108	.124	.096	.124	.037	-.108	-.407	-.375	-.386	-.334	-.284	-.299	-.247	-.287	-.065
	.530	.512	.655	.608	.642	.594	.677	.591	.875	.642	.067	.094	.084	.139	.213	.188	.281	.207	.780
Insul Frekans 800 Hz	.018	.033	-.018	-.012	-.027	-.033	-.051	-.050	-.152	-.255	-.478*	-.417	-.364	-.300	-.248	-.244	-.197	-.197	-.320
	.939	.886	.940	.959	.906	.885	.827	.830	.511	.265	.029	.060	.105	.186	.278	.286	.392	.392	.157
Insul Frekans 1000 Hz	-.018	-.007	-.046	-.045	-.061	-.078	-.097	-.104	-.209	-.275	-.456*	-.379	-.304	-.233	-.178	-.166	-.125	-.117	-.370
	.938	.977	.843	.845	.794	.738	.675	.653	.364	.228	.038	.090	.181	.309	.441	.473	.589	.614	.098
Insul Frekans 1250 Hz	-.052	-.044	-.075	-.082	-.098	-.117	-.149	-.148	-.265	-.328	-.492*	-.385	-.262	-.209	-.158	-.137	-.096	-.079	-.437*
	.824	.851	.748	.725	.674	.614	.519	.521	.245	.146	.024	.085	.251	.362	.495	.553	.680	.733	.048
Insul Frekans 1600 Hz	-.077	-.072	-.105	-.117	-.134	-.161	-.185	-.180	-.284	-.339	-.501*	-.400	-.245	-.196	-.148	-.125	-.086	-.069	-.460*
	.741	.756	.650	.615	.561	.486	.421	.435	.212	.132	.021	.072	.285	.395	.523	.588	.710	.765	.036
Insul Frekans 2000 Hz	-.098	-.092	-.125	-.136	-.154	-.184	-.204	-.202	-.302	-.359	-.516*	-.412	-.246	-.200	-.156	-.128	-.094	-.074	-.479*
	.673	.691	.590	.557	.504	.424	.374	.381	.183	.110	.017	.064	.282	.384	.501	.581	.684	.749	.028
Insul Frekans 2500 Hz	-.152	-.141	-.181	-.194	-.213	-.237	-.257	-.254	-.345	-.393	-.518*	-.414	-.231	-.179	-.137	-.108	-.076	-.055	-.489*
	.511	.541	.433	.400	.354	.302	.261	.267	.125	.078	.016	.062	.313	.438	.553	.642	.743	.813	.025
Insul Frekans 3150 Hz	-.166	-.155	-.195	-.210	-.229	-.264	-.277	-.277	-.365	-.402	-.519*	-.418	-.216	-.165	-.125	-.094	-.065	-.040	-.496*
	.471	.501	.397	.360	.318	.247	.225	.224	.104	.071	.016	.060	.347	.475	.589	.686	.780	.864	.022
Insul Frekans 4000 Hz	-.205	-.193	-.233	-.252	-.270	-.298	-.317	-.319	-.393	-.418	-.510*	-.403	-.179	-.136	-.094	-.067	-.040	-.015	-.503*
	.374	.401	.310	.270	.237	.189	.162	.159	.078	.060	.018	.070	.437	.556	.686	.774	.864	.950	.020
Insul Frekans 5000 Hz	-.242	-.234	-.270	-.288	-.307	-.335	-.358	-.360	-.434*	-.453*	-.524*	-.405	-.166	-.129	-.088	-.058	-.032	-.002	-.504*
	.290	.308	.237	.205	.176	.138	.112	.109	.049	.039	.015	.068	.472	.579	.704	.803	.889	.993	.020
Insul R_w Sonuçları dB	.037	.041	.017	.037	.027	.054	.008	.026	-.100	-.225	-.467*	-.398	-.360	-.273	-.214	-.232	-.190	-.207	-.143
(Total)	.875	.859	.943	.875	.908	.817	.973	.911	.668	.326	.033	.074	.109	.231	.352	.312	.409	.368	.536

r<0.01 *p<0.05 **1: Empedans tüpü Frekans 100 Hz, **2**: Empedans tüpü Frekans 125 Hz, **3**: Empedans tüpü Frekans 160 Hz, **4**: Empedans tüpü Frekans 200 Hz, **5**: Empedans tüpü Frekans 250 Hz, **6**: Empedans tüpü Frekans 315 Hz, **7**: Empedans tüpü Frekans 400 Hz, **8**: Empedans tüpü Frekans 500 Hz, **9**: Empedans tüpü Frekans 630 Hz, **10**: Empedans tüpü Frekans 800 Hz, **11**: Empedans tüpü Frekans 1000 Hz, **12**: Empedans tüpü Frekans 1250 Hz, **13**: Empedans tüpü Frekans 1600 Hz, **14**: Empedans tüpü Frekans 2000 Hz, **15**: Empedans tüpü Frekans 2500 Hz, **16**: Empedans tüpü Frekans 3150 Hz, **17**: Empedans tüpü Frekans 4000 Hz, **18**: Empedans tüpü Frekans 5000 Hz, **19**: Empedans tüpü R_w sonuçları dB (Total)

Çizelge 4.28'de Empedans tüpü ile Insul simülasyon sonuçları korelasyon analizi sonuçları verilmiştir. Buna göre empedans tüpü frekans değerleri ile Insul frekans değerleri arasındaki ilişki Çizelge 4.29'a eklenmiştir.

Çizelge 4. 29: Empedans tüpü frekans değerleri ile Insul frekans değerleri arasındaki ilişki

Empedans tüpü frekans	Insul frekans	Aralarındaki ilişki	r	p
100 Hz	315 Hz	pozitif yönlü ve orta seviyede	.450	.041
100 Hz	400 Hz	pozitif yönlü ve orta seviyede	.510	0.18
125 Hz	315 Hz	pozitif yönlü ve orta seviyede	.474	.030
125 Hz	400 Hz	pozitif yönlü ve orta seviyede	.508	.018
160 Hz	315 Hz	pozitif yönlü ve orta seviyede	.506	.019
160 Hz	400 Hz	pozitif yönlü ve orta seviyede	.505	.020
200 Hz	250 Hz	pozitif yönlü ve orta seviyede	.450	.041
200 Hz	315 Hz	pozitif yönlü ve orta seviyede	.542	.011
200 Hz	400 Hz	pozitif yönlü ve orta seviyede	.540	.011
250 Hz	250 Hz	pozitif yönlü ve orta seviyede	.462	.035
250 Hz	315 Hz	pozitif yönlü ve orta seviyede	.558	.009
250 Hz	400 Hz	pozitif yönlü ve orta seviyede	.540	.011
400 Hz	250 Hz	pozitif yönlü ve orta seviyede	.460	.036
400 Hz	315 Hz	pozitif yönlü ve orta seviyede	.576	.006
400 Hz	400 Hz	pozitif yönlü ve orta seviyede	.535	.012
500 Hz	250 Hz	pozitif yönlü ve orta seviyede	.441	.045
500 Hz	315 Hz	pozitif yönlü ve orta seviyede	.581	.006
500 Hz	400 Hz	pozitif yönlü ve orta seviyede	.564	.004
630 Hz	315 Hz	pozitif yönlü ve orta seviyede	.530	.014
630 Hz	400 Hz	pozitif yönlü ve orta seviyede	.463	.035
630 Hz	5000 Hz	negatif yönlü ve orta seviyede	-.434	.049
800 Hz	5000 Hz	negatif yönlü ve orta seviyede	-.453	.039

Çizelge 4. 29 (devamı): Empedans tüpü frekans değerleri ile Insul frekans değerleri arasındaki ilişki

Empedans tüpü frekans	Insul frekans	Aralarındaki ilişki	r	p
1000 Hz	800 Hz	negatif yönlü ve orta seviyede	-.478	.029
1000 Hz	1000 Hz	negatif yönlü ve orta seviyede	-.456	.038
1000 Hz	1250 Hz	negatif yönlü ve orta seviyede	-.492	.024
1000 Hz	1600 Hz	negatif yönlü ve orta seviyede	-.501	.021
1000 Hz	2000 Hz	negatif yönlü ve orta seviyede	-.516	.017
1000 Hz	2500 Hz	negatif yönlü ve orta seviyede	-.518	.016
1000 Hz	3150 Hz	negatif yönlü ve orta seviyede	-.519	.016
1000 Hz	4000 Hz	negatif yönlü ve orta seviyede	-.510	.018
1000 Hz	5000 Hz	negatif yönlü ve orta seviyede	-.524	.015
1000 Hz	R_w	negatif yönlü ve orta seviyede	-.467	.033
R_w	1250 Hz	negatif yönlü ve orta seviyede	-.437	.048
R_w	1600 Hz	negatif yönlü ve orta seviyede	-.460	.036
R_w	2000 Hz	negatif yönlü ve orta seviyede	-.479	.028
R_w	2500 Hz	negatif yönlü ve orta seviyede	-.489	.025
R_w	3150 Hz	negatif yönlü ve orta seviyede	-.496	.022
R_w	4000 Hz	negatif yönlü ve orta seviyede	-.503	.020
R_w	5000 Hz	negatif yönlü ve orta seviyede	-.504	.020

4.4 Yapı Fiziği – Fiziksel Çevre Denetimi Açısından Malzemenin Yapıda Kullanım Olanakları Üzerine Değerlendirme

Bu çalışmada LC^3 esaslı, barit ve kauçuk agregalı harçların akustik malzeme olarak kullanım imkanı araştırılmıştır. Araştırmanın ilk aşamasında Portland çimentosu esaslı harçlarla diğer aşamalarda LC^3 esaslı harçlarla fiziksel, mekanik ve akustik özelikler açısından karşılaştırmalar yapılmıştır. LC^3 esaslı tüm harçların fiziksel ve mekanik özelikler açısından yapıda kullanılabilir olduğu görülmüştür.

Júnior ve diğerlerinin (2021) çalışmasında farklı kalınlık ve yoğunluktaki masif ve içi boş alçı bloklardan örülmüş basit duvarlar ile akustik emici malzemeli ve akustik olmayan çift duvarların ses yalıtımına ilişkin bir değerlendirme sunulmaktadır. Alçı bloklar, Avrupa'da ve özellikle Brezilya'da binaların iç dikey bölmelerinde yaygın olarak kullanılan elemanlardır. Bu araştırmada, standart bir laboratuvarda testler yapılarak 22 bölmenin ses azaltma indeksi analiz edilmiş ve sonuçlar, 70 kg/m^2'nin üzerinde içi boş alçı blokların, katı bloklara göre daha yüksek akustik verim gösterme eğiliminde olduğunu göstermiştir. Kalınlıkları 50 mm ile 100 mm arasında değişen blokların R_w sonuçları 29 ile 39 dB arasında değişmektedir. Araştırma sonuçları bu tez çalışmasındaki INSUL programı ile hesaplanan R_w sonuçları ile karşılaştırıldığında LC^3 bağlayıcılı, barit kauçuk agregalı 2B1R harcının R_w sonuçları 52 dB'e kadar çıkmaktadır.

Wang ve diğ. (2022)'nin çalışmasında, hafif çift kanatlı duvarın hava doğuşlu ses yalıtım performansı incelenmiş ve kullanılan dikme türü, dikme aralığı, boşlukta kullanılan malzeme (dolgu malzemelerinin türü ve kalınlığı), panel katmanlarının türü, katman sayısı, kalınlık ve kütle etkisi araştırılmıştır. Hafif duvarın hava doğuşlu ses yalıtım performansına etkisi analiz edilmiştir. Deneysel çalışma sonuçları, hafif çift katmanlı duvarın hava doğuşlu ses yalıtım performansının aşağıdaki beş önlemle iyileştirilebileceğini göstermektedir: Katmanlar arası boşluğun artırılması, panel boyutunun artırılması, boşlukta dolgu malzemesi olarak taş yünü veya cam yünü kullanılması, panel katmanlarının sayısının veya panel kütlesinin artırılması ve yapısal bağlantı elemanlarının sayısının azaltılması. Sonuçlar 45 ile 57.1 dB arasında değişmiştir (Wang ve diğ, 2022). Tez çalışması sonucunda elde edilen 2B1R harcının yukarıda bahsedilen katmanlı hafif duvar malzemesi ile yakın ses yalıtım performansı gösterdiği görülmüş ve üretilen barit ve kauçuklu yapı elemanının tek katmanlı ve ince kesitli olarak yapılarda kullanım imkanı olduğu görülmüştür.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmanın hipotezi; "Bir binada ses iletimine bağlı konfor koşullarını sağlamak üzere tek tabakalı ve kalınlık açısından mevcuta alternatif olabilecek ancak ses yalıtım değeri iyileştirilmiş kompozit bir akustik eleman geliştirilebilir" olarak belirlenmiştir. Çalışmada, insan kulağının en iyi duyduğu frekans aralığındaki (500 Hz-4000 Hz) akustik konfor koşullarını azaltan sesleri engelleyebilmek amacıyla duvar bölme ve yapı kabuğu elemanını oluşturan malzemenin ses iletim kaybı değerinin en iyi düzeyde tutulması amaçlanmıştır. Bu amaçla, farklı malzeme alternatifleri deney yöntemiyle tasarlanarak ses gücünün, şiddetinin ve basıncının yönetmelik tarafından belirlenen (Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik, 2017) değerlere getirilmesi hedeflenmiştir. Ses iletim kaybı değerini artırmak amacıyla LC^3 ekolojik bağlayıcılı ve farklı agrega türleriyle oluşturulmuş mevcut yapı malzemelerine alternatif olabilecek harçlar üretilmiştir. Üretilen harçların ses iletim kaybı değerleri empedans tüpü kullanılarak belirlenmiş ve tüm numuneler için elde edilen sonuçlar toplu halde Çizelge 4.6'da verilmiştir. Buna göre hipotezi destekleyen aşağıdaki adımlar gerçekleştirilmiştir.

- Bir binada ses iletimine bağlı konfor koşullarını sağlamak üzere tek tabakalı ve kalınlık açısından mevcuta alternatif olabilecek ancak ses yalıtım değeri iyileştirilmiş kompozit bir malzeme geliştirilmiştir.
- Kritik frekansı en iyi duyulabilen frekans aralığının (500 Hz-4000 Hz) dışına çıkarmak için malzemenin "ağırlığı ve yumuşaklığı" artırılabilir parametresine ve kütle kanununa göre malzemede ağırlığı artırmak amacıyla ekolojik çimentoya (LC^3) barit agregası katarak harç oluşumu sağlanmıştır.
- Kütle kontrolü ile birlikte rijitlik kontrolünün de yalıtımda değerlendirilmesi gereken önemli bir parametre olması nedeniyle malzemenin rijitliğini azaltmak amacıyla barit agregalı ekolojik çimentoya (LC^3) atık kauçuk agregası katarak harç oluşumu sağlanmıştır.

- Üretilen malzeme, akustik performansın yanı sıra bir bölücü duvardan beklenilen diğer mekanik ve fiziksel performans gerekliliklerini sağlamaktadır.
- Ekolojik malzemeler kullanılarak yenilikçi bir malzeme tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde aşağıdaki yorumları yapmak mümkündür:

- LC^3 harcındaki gözenekliliğin artması, harçların ağırlıkça su emme oranı, görünür porozite ve kapilarite katsayısında artışa neden olmuştur. Artan gözeneklilik, LC^3 harcının mekanik ve akustik özeliklerini zayıflatmıştır. PC harcının ses iletim kaybı değerleri, PC harcının ağırlığı ve kompasitesi nedeniyle özellikle yüksek frekanslarda yüksek değerler almıştır.
- 8 mm dere kumu ile üretilen harçtaki gözeneklilik 2 mm dere kumlu harca göre azalmıştır. Gözeneklilikteki bu azalma, basınç ve eğilmede çekme dayanımlarındaki artışı beraberinde getirmiştir. Ancak ses iletim kaybı değerleri orta frekans aralıkları hariç için yakın bulunmuştur. Bu durum, harçların kütle ve elastiklik modülü değerlerinin birbirine yakın olması ile açıklanabilir. Agrega dane boyutunun artması harcın kompasitesinin artmasına yardımcı olmuş ve ses iletim kaybı değerini artırarak orta frekans aralığını etkilemiştir.
- Dere kumu, barit ve kauçuk agregalarıyla hazırlanmış harçlardan en yüksek birim hacim ağırlık barit agregalı harçta, en düşük birim hacim ağırlık kauçuk agregalı harçta elde edilmiştir. Kauçuk agregası ile hazırlanmış harcın kapiler su emme katsayısının dere kumu ve barit agregasıyla hazırlanmış harca göre daha fazla olduğu görülmüştür. Kauçuk agregalı harçta ağırlıkça su emme, görünür porozite ve porozite değerlerinin dere kumlu ve baritli harçtan daha fazla olduğu bulunmuştur. Buna bağlı olarak kauçuk agregalı harçlarla kıyaslandığında ultrases hızı ve elastiklik modülü, dere kumu ve barit agregalı harçlarda azalmıştır. Fiziksel sonuçlara paralel olarak en yüksek basınç dayanımı barit agregalı harçta elde edilmiştir. Beklenildiği gibi en düşük basınç dayanımı kauçuk agregalı harçta elde edilmiştir. Düşük frekans aralığında en iyi performans 120 mm kalınlıklı kauçuk agregalı harçta elde edilmişken, yüksek frekanslarda en iyi performans 60 mm kalınlıklı barit agregalı harçta elde edilmiştir.

Optimum performansın hipoteze uygun olarak her iki agreganın birlikte kullanılmasıyla sağlanacağı düşünülerek barit ve kauçuk agregaları birlikte kullanılmıştır. Kum, barit ve kauçuk agregalı harçların yüzey yoğunlukları farklı olmakla birlikte STL değerleri benzer olarak elde edilmiştir.

- Optimum ses iletim kaybı değerinin elde edilebileceği düşünülerek barit ve kauçuk agrega karışımları kullanılarak harç numuneleri üretilmiştir. Bu harçlardan barit agregasının hacimce fazla olduğu harcın (2B1R8) birim hacim ağırlık değeri, hacimce az olan harçtan (2R1B8) daha fazladır. Birim hacim ağırlığının 2R1B8 harcında azalması özgül ağırlığın da azalmasını beraberinde getirmiştir. 2R1B8 harcının kapiler su emme katsayısı 2B1R8 harcından daha fazladır. 2R1B8 harcının ağırlıkça su emme, görünür porozite ve porozite değerleri 2B1R8 harcından daha fazladır. Buna bağlı olarak 2R1B8 harcında ultrases hızı ve elastiklik modülü azalmıştır. 2B1R8 harcının basınç dayanımının, 2R1B8 harcından fazla olduğu görülmüştür Düşük frekanslarda gelen sesi engellemek zordur. Hipotezi destekler şekilde düşük frekanslarda en iyi performansı 90 mm'lik 2B1R8 harcı göstermiştir. Bu kalınlıkta en iyi performansın görülmesi ses yalıtımında etkili optimum kalınlığın olduğunu göstermektedir.
- Üretilen LC-2B1R8-2.75 harcı ses yalıtımı açısından beklenilen akustik performansın yanı sıra bir iç duvardan beklenilen diğer mekanik ve fiziksel performans gerekliliklerini sağlayabilmiştir.
- Barit ve atık kauçuk agregalarıyla üretilen harçlarda, özellikle barit agregasının hacimce fazla olduğu harçta en iyi ses iletim kaybı değerinin elde edilmesiyle, bu iki agregalı harçlarda agrega/bağlayıcı oranı değişiminin etkisi irdelenmiştir. Agrega/bağlayıcı oranı hacimce 2.75 olan bir önceki harçlar 2 ve 3.5 olarak üretilmiştir.
- LC^3 ekolojik bağlayıcısının, barit ve atık kauçuk agregalarıyla birlikte kullanıldığında, binalarda ses denetimini sağlamada elverişli bir harç olarak kullanılabileceği tespit edilmiştir.
- PC bağlayıcılı harcın STL değeri, LC^3 ekolojik bağlayıcılı harca göre daha yüksek olmasına rağmen, LC^3 harcı farklı agrega türleri ile üretildiğinde ses iletim kaybının artırılabileceği gözlemlenmiştir.
- LC^3 bağlayıcılı harçta en yüksek STL değerine sahip harcın LC-2B1R8-2.75 harcı olduğu görülmüş, agrega/bağlayıcı oranı 2.75 olarak üretilmiş,

hacimce 2 barit agregası, 1 kauçuk agregası ile 90 mm kalınlığında elde edilmiştir. Barit ve kauçuk agregalarının birlikte kullanılması, sadece kum, barit veya kauçuk agregaları ile karşılaştırıldığında harcın ses iletim kaybı değerini artırmıştır.

- Bu yeni harcın üretiminde, normalde geleneksel yapı üretimi için atık olarak kabul edilen düşük kaliteli kil, dolomit bakımından zengin kireçtaşı ve atık lastik kullanılmış, %45 daha az miktarda Portland Çimentosu kullanılmıştır.
- Bu çalışmada ekolojik malzemeler kullanılarak yenilikçi bir malzeme tasarımı gerçekleştirilmiştir. Atık kauçuğun harç içinde bir agrega olarak kullanılması, kauçuk atığının bozunmayan doğası göz önüne alındığında, bertarafı ile ilgili çevresel zararları hafifletebilir.

Sonuç olarak; bu çalışmayla, LC^3 ekolojik bağlayıcısı ve barit-kauçuk agregaları ile çeşitli alternatifler oluşturularak yapılan deneyler sonucunda, önerilen kompozisyonun binalarda bölücü duvar olarak tek bir katmanda uygulama olanağı veren yerel, ekonomik ve ekolojik açıdan umut verici, ses iletim kaybı geliştirilmiş bir malzeme üretilebildiğini göstermiştir Bazı kompozisyonların ses kesicilik bağlamında benzer veya beklenenden daha düşük performans gösterdiği görülmüştür. Yine de daha iyi bir ses iletim kaybı performansının sağlanabilmesi için LC^3 ekolojik bağlayıcısı farklı agrega türleriyle, farklı dane boyutlarıyla, farklı kalınlıklarda üretilerek ileri araştırmalarla geliştirilebilir. Tez kapsamında üretilen bu malzemenin ilerideki çalışmalarla, yangın dayanımı ve durabilitesi araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

Akgül, E. ve Tanaçan, L. (2010). Evaluation of the pozzolanic activity of the earth of Datça as a building material. *International Journal of Architectural Heritage*, 1–26.

Akgün, Y., Durmuş, A. ve Durmuş, A. (2007). Barit agregasıyla üretilen ağır bir betonun özelikleri. *7. Ulusal Beton Kongresi* (s. 466-474).

Aksoylu, C., Mendi E. ve Söylev A. (2016). Ses yalıtımında ses azaltım indisi modellerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 961-970.

Antoni, M. (2013). Investigation of cement substitution by blends of calcined clays and limestone. doi:10.5075/epfl-thesis-6001

Antoni, M., Rossen, J., Martirena. F. ve Scrivener, K. (2012). Cement substitution by a combination of metakaolin and limestone. *Cement and Concrete Research*, *42*, 1579–1589.

ASTM E413-10 (2016). *Classification for Rating Sound Insulation*. Erişim: https://www.astm.org/e0413-10.html

ASTM E90-09 (2016). *Standard Test Method for Laboratory Measurement of Airborne Sound Transmission Loss of Building Partitions and Elements*. Erişim: https://www.astm.org/e0090-09r16.html

ASTM E2611-19 (2019). *Standard Test Method for Normal Incidence Determination of Porous Material Acoustical Properties Based on the Transfer Matrix Method*. Erişim: (https://www.astm.org/e2611-19.html)

ASTM C109/C109M-20 (2020). *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens.* Erişim: www.astm.org/c0109_c0109m-20.html

ASTM C1437-20 (2020). *Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar*. Erişim: https://www.astm.org/c1437-20.html

ASTM C595/C595M-21 (2021). *Standard Specification for Blended Hydraulic Cements*. Erişim: http://www.astm.org/Standards/C595.html

Avet, F., Snellings, R., Diaz, A. A., Haha M. B. ve Scrivener, K. (2016). Development of a new rapid, relevant and reliable (R3) test method to evaluate the pozzolanic reactivity of calcined kaolinitic clays. *Cement and Concrete Research*, 1-11.

Avet, F. ve Scrivener, K. (2018). Investigation of the calcined kaolinite content on the hydration of LC^3. *Cement and Concrete Research*, 124-135.

Avet, F., Li, X. ve Scrivener, K. (2018). Determination of the amount of reacted metakaolin in calcined clay blends. *Cement and Concrete Research*, 40-48.

Baççıoğlu, C. (2017). *Odalar arasında hava doğuşlu ses yalıtımının yanal iletimler dahil edilerek hesaplanması.* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Barron, R. F. (2003). *Industrial Noise Control and Acoustics: Taylor and Francis* (1. Baskı). CRC Press.

Binaların Gürültüye Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik. (2017). *T.C. Resmi Gazete,* 30082, 31 Mayıs 2017.

Binici, H., Aksogan, O., Bakbak, D., Kaplan, H. ve Isik. B. (2009). Sound insulation of fibre reinforced mud brick walls. *Construction and Building Materials*, *23*, 1035–1041.

Binici, H. ve Aksogan, O. (2016). Insulation material production from onion skin and peanut shell fibres, fly ash, pumice, perlite, barite, cement and gypsum. *Materials Today Communications*, *10*, 14-24.

Bozkurt, T. S. (2019). Tarihi mekânlarda kullanılan sıva yüzey kaplamalarının ses yutma katsayısının incelenmesi ve geliştirilmesi. (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Bozkurt, T. S. ve Demirkale, S. Y. (2018). The laboratory analyses for the plasters prepared with river sand aggregate and hydraulic lime binder. *Construction and Building Materials*, *190*, 691–709.

Bozkurt, T. S. ve Demirkale, S. Y. (2020). Investigation and development of sound absorption of plasters prepared with pumice aggregate and natural hydraulic lime binder. *Applied Acoustics*, *170*, 107521.

Bucur, V. (2005). *Acoustics of Wood*. Springer.

Caballol, D. ve Raposo, A. P. (2018). Analysis of the measurement of transmission loss in rigid building materials with a standing wave tube. *Construction and Building Materials,* 242-248.

Cambridge, J. E. (2006). *An evaluation of various sound insulation programs and their use in the design of silent rooms.* (Yüksek lisans tezi). Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.

Cremer, L. ve Heckl, M. (1973). Structure-Borne Sound: Structural Vibrations and Sound Radiation at Audio Frequencies. (Kitap). Springer Berlin, Heidelberg

Çay, H. (2017). *TS EN 12354-1 ve TS EN ISO 140-4 standardlarının karşılaştırılması: İstanbul'da bir konut örneği*. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

De Weerdt, K., Haha, M. Ben, Le Saout, G., Kjellsen, K. O., Justnes, H. ve Lothenbach, B. (2011). Hydration mechanisms of ternary Portland cements containing limestone powder and fly ash. *Cement and Concrete Research*, *41*(3), 279–291.

Dhandapani, Y. ve Santhanam, M. (2017). Assessment of pore structure evolution in the limestone calcined clay cementitious system and its implications for performance. *Cement and Concrete Composites,* 36-47.

Díaz, Y. C., Berriel, S. S., Heierli, U., Favier, A. R., Machado, I. R. S., Scrivener, K. L., ... Habert, G. (2017). Limestone calcined clay cement as a low-carbon solution to meet expanding cement demand in emerging economies. *Development Engineering, 2*, 82-91.

Erdil, M. (2015). *Assessment of Sound Transmission Characteristics of Traditional Timber Framed Dwellings in Ankara, Turkey.* (Yüksek lisans tezi). Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Ersoy, O. (2019). The effect of dispersion quality of fillers on soundproofing properties of acrylonitrile butadiene styrene/dense filler composites: Barite vs Magnetite. *Polymer Composites*, 1045-1052.

Esen, Y. ve Yılmazer, B. (2010). Investigation of some physical and mechanical properties of concrete produced with barite aggregate. *Scientific Research and Essays, 5*(24), 3826-3833.

Fadiel, A., Rifaie, F. A., Abu-Lebdeh, T. ve Fini, E. (2014). Use of crumb rubber to improve thermal efficiency of cement-based materials. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, *7*(1), 1-11.

Flatt, R. J., Roussel, N. ve Cheeseman, C. R. (2012). Concrete: An eco material that needs to be improved. *Journal of the European Ceramic Society*, 2787-2798.

George, D. ve Mallery, M. (2010). *SPSS for Windows Step by Step: A Simple Guide and Reference, 17.0 update*. Boston: Pearson.

Ghosh Roy, D. N., Roberts, J., Schabel, M. ve Norton, S. J. (2007). Noise propagation in linear and nonlinear inverse scattering. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *121*(5), 2743–2749.

Girskas, G. ve Nagrockienė, D. (2017). Crushed rubber waste impact of concrete basic properties. *Construction and Building Materials, 140*, 36–42.

Glé, P., Gourdon E. ve Arnaud, L. (2011). Acoustical properties of materials made of vegetable particles with several scales of porosity. *Applied Acoustics*, *72*(5), 249-259.

Guo, S., Dai, Q, Si, R., Sun, X. ve Lu, C. (2017). Evaluation of properties and performance of rubber-modified concrete for recycling of waste scrap tire. *Journal of Cleaner Production*, *148*, 681–689.

Guillaume, M. (2013). *Acoustical and thermal properties of porous concrete*. Acoustics and Noise Research Group, University of British Columbia, Vancouver.

Günal, B. (1997). *SEA yöntemi yardımıyla tek ve çift tabakalı yapı elemanlarından ses geçiş kayıplarının hesaplanması için bir bilgisayar programı geliştirilmesi.* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

He, L., Ma, Y., Liu, Q. ve Mu, Y. (2016). Surface modification of crumb rubber and its influence on the mechanical properties of rubber-cement concrete. *Construction and Building Materials*, *120*, 403–407.

Hassan, O. A. B. (2009). Building acoustics and vibration: Theory and practice. Singapore; Hackensack, NJ : World Scientific.

Herrero, S., Mayor, P. ve Hernández-Olivares, F. (2013). Influence of proportion and particle size gradation of rubber from end-of-life tires on mechanical, thermal and acoustic properties of plaster–rubber mortars. *Materials & Design*, 633-642.

Holmes, N., Browne, A. ve Montague C. (2014). *Acoustic Properties of Concrete Panels with Crumb Rubber as a Fine Aggregate Replacement*. School of Civil & Structural Engineering, Dublin Institute of Technology, Dublin.

Hong, Z., Bo L., Guangsu H. ve Jia, H. (2007). A novel composite sound absorber with recycled rubber particles. *Journal of Sound and Vibration*, *304*, 400-406.

Initiative, C. S. (2009). *Cement Industry Energy and CO2 Performance: Getting the Numbers Right (GNR).* WBCSD.

ISO 15186–1: 2000. (2000). *Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements using sound intensity - Part 1: Laboratory measurements.* Erişim: https://www.iso.org/standard/26097.html

Issa, Camille A. ve Salem, G. (2013). Utilization of recycled crumb rubber as fine aggregates in concrete mix design. *Construction and Building Materials*, *42*, 48–52.

Jung, S. S., Kim, Y. T., Lee, Y. B., Cho, S. I. ve Lee, J. K. (2008). Measurement of sound transmission loss by using impedance tubes. *Journal of the Korean Physical Society, 53*(2), 596-600.

Júnior, O. J. S., Pinheiro, M. A. S., Silva, J. J. R., Pires, T. A. C. ve Alencar, C. O. S. (2021). Sound insulation of gypsum block partitions: An analysis of single and double walls. *Journal of Building Engineering*, 39, 102253.

Kadam, V. V. ve Nayak, R. (2016). Basics of Acoustic Science. R. Padhye ve R. Nayak (Ed.), *Acoustic Textiles* (s. 33–42). Singapore: Springer Singapore.

Khaloo, A. R., Dehestani, M. ve Rahmatabadi, P. (2008). Mechanical properties of concrete containing a high volume of tire–rubber particles. *Waste Management*, *28*(12), 2472–2482.

Kılınçarslan, Ş., Başyiğit, C. ve Akkurt, İ. (2007). Barit agregalı ağır betonların radyasyon zırhlama amacıyla kullanımının araştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 393-399.

Kılınçarslan, Ş., Sancar, S. ve Uzun, İ. (2011). Barit agregalı ağır betonların betonarmede kullanılabilirliği. *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, Elazığ.

Kim, H. K., Jeon, J. H. ve Lee, H. K. (2012). Workability, and mechanical, acoustic and thermal properties of light- weight aggregate concrete with a high volume of entrained air. *Construction and Building Materials,* 193-200.

Kinnane O., Reilly A., Grimes J., Pavia S. ve Walker R. (2016). Acoustic absorption of hemp-lime construction. *Construction and Building Materials, 122*, 674-682.

Kocataşkın, F. (2000). *Yapı Malzemesi Bilimi-Özelikler ve Deneyler*. İstanbul: Birsen Yayınevi.

Körük, H. (2022). Assessment of the measurement and prediction methods for the acoustic properties of natural fiber samples and evaluation of their properties. *Journal of Natural Fibers*, *19*(13), 6283–6311.

Lagerblad, B. (2005). *Carbon Dioxide Uptake during Concrete Life Cycle - State of the Art.* Swedish Cement and Concrete Research Institute.

Lai, J. C. S. ve Burgess, M. (1991). Application of the sound intensity technique to measurement of field sound transmission loss. *Applied Acoustics, 34*(2), 77–87.

Li, X., Tung Chai L. ve Mo, K. H. (2020). Functions and impacts of plastic/rubber wastes as eco-friendly aggregate in concrete – A review. *Construction and Building Materials*, *240*, 117869.

Liang, J. Z. ve Jiang, X. H. (2012). Soundproofing effect of polypropylene/inorganic particle composites. *Composites Part B-Engineering*, 1995-1998.

Mielenz, R. W., Witte, L. P. ve Glantz, O. J. (1950). Effect of Calcination on Natural Pozzolans. *Symposium on Use of Pozzolanic Materials in Mortars and Concretes*.

Mundo, D. R., Petrella, A. ve Notarnicola, M. (2018). Surface and bulk hydrophobic cement composites by tyre rubber addition. *Construction and Building Materials*, *172*, 176–184.

Paki, T. ve Yeşilata, B. (2009). Atık lastik katkılı harç plak ve briketlerin termo-mekanik davranışlarının araştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, *24*(4), 651-658.

Park, S. B., Seo D. S. ve Lee J. (2005). Studies on the sound absorption characteristics of porous concrete based on the content of recycled aggregate and target void ratio. *Cement and Concrete Research, 35*, 1846-1854.

Pczieczek, A., Schackow, A., Effting, C., Dias, F. T. ve Gomes, I. R. (2017). Properties of mortars containing tire rubber waste and expanded polystyrene (EPS). *Journal of Urban and Environmental Engineering*, 219-225.

Pepplinkhouse, H. J. ve Davern W. A. (1975), Acoustic tiles from solid wastes, division of building research, commonwealth scientific and ındustrial research organization. *Journal of the Australian Ceramic Society*, *11*, 42-45.

Puerta-Falla, G., Balonis, M., Saout, G. L., Falzone, G. Zhang, C., Neithalath, N. ve Sant, G. (2015). Elucidating the role of the aluminous source on limestone reactivity in cementitious materials. *J. Am. Ceram. Soc*. *98*(12), 4076–4089.

Postacıoğlu, B. (1986). *Beton I-II.* İstanbul: İTÜ Matbaası.

Rajagopalan, P. ve Leung, T. (2013). On the acoustic performance of a precast panel system made from environmentally sustainable concrete: Application in sports hall buildings. *Architectural Science Review*, *56*(2), 118-130.

Ramachandran, V. S. (1996). *Concrete Admixtures Handbook, Properties, Science and Technology* (2. Baskı). Elsevier.

Reig, L., Tashima, M. M., Borrachero, M. V., Monzó, J., Cheeseman, C. R. ve Payá, J. (2013). Properties and microstructure of alkali-activated red clay brick waste. *Construction and Building Materials*, *43*, 98–106.

Reynolds D. D. (1981). *Engineering Principles of Acoustics: Noise and Vibration Control*. Allyn & Bacon Inc.

Söyek Abay, B. ve Tanaçan, L. (2022). Sound Transmission Loss of LC^3 Based Mortars with barite and waste rubber. *Building Acoustics*, *29*(4), 503-528.

Saad, M.N., Andrade, W.P. ve Paulon, V.A. (1982). Properties of mass concrete containing an active pozzolan made from clay. *Concrete international*, *4*, 59-65.

Saidani, K., Ajam, L. ve Ouezdouac, M. B. (2015). Barite powder as sand substitution in concrete: Effect on some mechanical properties. *Construction and Building Materials, 95*, 287-295.

Schiavoni, S., D'Alessandro, F., Bianchi, F. ve Asdrubali, F. (2016). Insulation materials for the building sector: A review and comparative analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *62*, 988–1011.

Scrivener, K., Martirena, F., Bishnoi, S. ve Maity, S. (2018). Calcined Clay Limestone Cements (LC^3). *Cement and Concrete Research*, 49-56.

Segre, N. ve Joekes, I. (2000). Use of tire rubber particles as addition to cement paste. *Cement and Concrete Research*, *30*(9), 1421-1425.

Shah, V., Scrivener, K., Bhattacharjeea, B. ve Bishnoia, S. (2018). Changes in microstructure characteristics of cement paste on carbonation. *Cement and Concrete Research,* 184-197.

Shebl, S. S., Seddeq, H. S. ve Aglan, H. A. (2011). Effect of micro-silica loading on the mechanical and acoustic properties of cement pastes. *Construction and Building Materials*, *25*(10), 3903–3908.

Shi, Z., Lothenbach, B., Geiker, M. R., Kaufmann, J., Leemann, A., Ferreiro, S. ve Skibsted, J. (2016). Experimental studies and thermodynamic modeling of the carbonation of Portland cement, metakaolin and limestone mortars. *Cement and Concrete Research,* 60-72.

Shu, X. ve Huang, B. (2014). Recycling of waste tire rubber in asphalt and portland cement concrete: An overview. *Construction and Building Materials*, *67*, 217–224.

Suhawati, I., Shamsul, K., Ismaliza, I. ve Kamarudin, A. M. (2013). Sound absorption analysis of foamed rubber composites from kenaf and calcium carbonate. *Journal of Rubber Research*, 36-44.

Sukontasukkul, P. (2009). Use of crumb rubber to improve thermal and sound properties of pre-cast concrete panel. *Construction and Building Materials*, *23*(2), 1084–1092.

Taylor, H. F. W. (1997). *Cement Chemistry* (2. Baskı). London: Thomas Telford.

Tiuc, A. E., Vasile, O., Uscă, A. D., Gabor, T. ve Vermeşan, H., (2014), The analysis of factors that influence the sound absorption coefficient of porous materials. *Romanian Journal of Acoustics & Vibration*, *11*(2), 105-108.

Topçu, İ. B. (2003). Properties of heavyweight concrete produced with barite. *Cement and Concrete Research.* 815-822.

Topličić-Ćurčić, G., Ristić, N., Grdić, D., Mitković, P. ve Grdić, Z. (2014). Hydro-abrasive resistance and mechanical properties of rubberized concrete. *GRAĐEVINAR*, *66*(1), 11-20.

TS 1925 (2000). *Doğal Taşlar - Deney Metotları - Kılcal Etkiye Bağlı Su Emme Katsayısının Tayini*, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 140-1 (2006). *Akustik - Yapılarda ve yapı elemanlarında ses yalıtımının ölçülmesi - Bölüm 1: Bastırılmış yan iletimli laboratuvar deney yerleri için kurallar,* Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 140-3 (2006). *Akustik-Yapılarda ve yapı elemanlarında ses yalıtımının ölçülmesi-Bölüm 3: Yapı elemanlarında havada yayılan ses yalıtım değerinin laboratuvarda ölçülmesi,* Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 197-1 (2012). *Çimento- Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri*. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 1015-10 (2001). *Kâgir Harcı - Deney Metotları - Bölüm 10: Sertleşmiş Harcın Boşluklu Kuru Birim Hacim Kütlesinin Tayini*. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 10534-2 (2003). *Akustik – Empedans Borularındaki Ses Absorpsiyon Katsayısının ve Empedansın Tayini – Bölüm 2: Aktarım Fonksiyonu Metodu*. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 12354-1 (2019). *Yapı Akustiği – Yapıların Akustik Performasının Elemanların Performanslarından Hesaplanması - Bölüm 1: Odalar Arasında Hava ile Yayılan Sesin Yalıtımı*. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 13755 (2001). *Doğal Taşlar - Deney Metotları - Atmosfer Basıncında Su Emme Tayini*. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 14579 (2006). *Doğal Taşlar - Deney Metotları - Ses Hızı İlerlemesinin Tayini*.Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

TS EN ISO 717-1:2013 (2013). *Akustik - Yapılarda ve Yapı Elemanlarında Ses Yalıtımının Derecelendirilmesi - Bölüm 1: Hava ile Yayılan Sesin Yalıtımı*.

TS EN ISO 717-2:2013 (2013). *Akustik - Yapılarda ve yapı elemanlarında ses yalıtımının derecelendirilmesi - Bölüm 2: Darbe Sesi Yalıtımı (ISO 717-2:2013)*.

TS 25 (2008). *Doğal Puzolan (Tras) - Çimento ve Betonda Kullanılan - Tarifler, Gerekler ve Uygunluk Kriterleri*. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

TS 196-1 (2009). *Çimento Deney Metotları - Bölüm 1: Dayanım Tayini*. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

TS 196-6 (2010). *Çimento Deney Yöntemleri - Bölüm 6: İncelik Tayini*. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

TS 699 (2009). *Doğal Yapı Taşları - İnceleme ve Laboratuvar Deney Yöntemleri*. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

TS 1936 (2010). *Doğal Taşlar - Deney Yöntemleri - Gerçek Yoğunluk, Görünür Yoğunluk, Toplam ve Açık Gözeneklilik Tayini* (TS EN 1936). Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

UN Environment, Scrivener, K. L., Vanderley, M. J. ve Gartner, E. M. (2018). Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO_2 cement-based materials industry. *Cement and Concrete Research*, 2-26.

Url-1 < *https://lc3.ch* >, erişim tarihi 24.05.2023.

Url-2 <*https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022.pdf*>, erişim tarihi 24.05.2023.

Url-3 <*https://www.trade.gov.tr/data/5b8fd5bf13b8761f041fee9b/Mining.pdf.*>, erişim tarihi 15.10.2022.

Url-4 <*http://almadencilik.csglobal.com.tr/*>, erişim tarihi 01.10.2022.

Ünal, O., İçağa Y. ve Çoşkun A. (2014), Ağır betonların fiziksel ve mekanik özelliklerine filler malzemenin etkisi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, *10*(2), 12-18.

Vér, I. L. ve Beranek, L. L. (2006). *Noise and Vibration Control Engineering: Principles and Applications* (2. Baskı.). Wiley.

Villain, G. ve Thiery, M. (2005) Impact of carbonation on microstructure and transport properties of concrete. *10 DBMC International Conférence On Durability of Building Materials and Components,* Lyon, 17-20 April 2005.

Wang, C. ve Parrett, A. (2011). Damping mass effects on panel sound transmission loss. *SAE Technical Paper.* 2011-01-1633.

Wang, J., Du, B. ve Huang, Y. (2022). Experimental study on airborne sound insulation performance of lightweight double leaf panels. *Applied Acoustics*, *197*, 108907.

Warnock, A. C. C. (1985). *Factors affecting sound transmission loss*. Division of Building Research, National Research Council Canada.

Witte, L. P. ve J. E. Backstrom. (1954). Properties of heavy concrete made with barite aggregates. *American Concrete Institute Journal,* 51-88.

Yakaboylu, O. (2010). *Atık lastik yönetimi ve atık lastik pirolizi model tesisi için yapılabilirlik çalışması*. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Yang, Y., Li, B., Chen, Z., Sui, N., Chen, Z., Saeed, M.-U., Li, Y., Fu, R., Wu, C. ve Jing, Y. (2016). Acoustic properties of glass fiber assembly-filled honeycomb sandwich panels. *Composites Part B: Engineering*, *96*, 281–286.

Yılmaz Demirkale, Sevtap. (2008). *Yapı Elemanlarında Sesin Yayılması, Çeşitli Duvarların Ses Geçiş Kaybı Değerlerinin Karşılaştırılması*. İstanbul: İTÜ Mimarlık Fakültesi.

Yılmaz Demirkale, Sevtap. (2007). *Çevre ve Yapı Akustiği Mimarlar ve Mühendisler İçin El Kitabı*. İstanbul: Birsen Yayınevi.

Young, W. C., Budynas, R. G. ve Sadegh, A. M. (2012). *Formulas for Stress and* Strain (8. Baskı). McGraw-Hill Companies.

Yu, H., Yao, G., Wang, X., Liu, Y. ve Li, H. (2007). Sound insulation property of Al–Si closed-cell aluminum foam sandwich panels. *Applied Acoustics*, *68*(11), 1502–1510.

Zhao, C., Wang, P., Wang, L. ve Liu, D. (2014). Reducing railway noise with porous sound-absorbing concrete slabs. *Advances in Materials Science and Engineering*, 206549.

Zhao, J., Wang, X. M., Chang, J. M., Yao, Y. ve Cui, Q. (2010). Sound insulation property of wood–waste tire rubber composite. *Composites Science and Technology*, *70*(14), 2033–2038.

Zhu, X., Kim, B. J., Wang, Q. ve Wu, Q. (2014). Recent advances in the sound insulation properties of bio-based materials. *BioResources*, 1764-1786.

EKLER

EK A: Numunelere ait fiziksel ve mekanik ait deney sonuçları.

EK B: Akustik deney sonuçları.

EK C: Laboratuvar deney görselleri.

EK A: Numunelere ait fiziksel ve mekanik ait deney sonuçları.

PC: Portland Çimentosu,
LC: %55 klinker, %30 metakaolen, %15 kireçtaşı tozu (Limestone Calcined Clay Cements),
S: Dere kumu (Sand),
B: Barit,
R: Kauçuk (Rubber)

Çizelge A.1: Numunelere ait kapiler su emme deney sonuçları.

PC-S2-2.75							
taban alanı ($cm^{2)}$	16.38	16.81	16.52		1	2	3
ortam nemi ağırlığı (gr)	550.81	560.3	553.51				
ilk ağırlık (gr)	550.95	560.42	553.61	N1	0,04517705	0.05353956	0.04176755
4 dk ağırlık (gr)	551.58	560.89	554.97	N2	0.04181929	0.04074955	0.0348063
9 dk ağırlık (gr)	551.85	561.11	554.29	N3	0.03337403	0.03252033	0.03208232
16 dk ağırlık (gr)	552.12	561.34	554.51	N4	0.0291514	0.02706722	0.02406174
25 dk ağırlık (gr)	552.34	561.55	554.73	N5	0.02600733	0.02415229	0.02191283
36 dk ağırlık (gr)	552.58	561.78	554.95	N6	0.02411477	0.0224073	0.02048023
49 dk ağırlık (gr)	552.8	561.99	555.17	N7	0.02258852	0.02099091	0.01945694
1 s 4 dk ağırlık (gr)	553.02	562.18	555.37	N8	0.02144383	0.01977989	0.01853814
1 s 21 dk ağırlık (gr)	553.28	562.39	555.57	N9	0.02082485	0.01897019	0.01782351
1 s 40 dk ağırlık (gr)	553.49	562.58	555.77	N10	0.02002442	0.01820345	0.01725182
2 s 1 dk ağırlık (gr)	553.7	562.76	555.95	N11	0.01936952	0.01752204	0.016674
2 s 24 dk ağırlık (gr)	553.9	562.94	556.12	N12	0.01877289	0.01695419	0.01614205
2 s 49 dk ağırlık (gr)	554.1	563.08	556.28	N13	0.01826806	0.01629067	0.01564537
N_{ort} ($cm^3/cm^2\sqrt{dk}$)					0.02622584	0.02531905	0.02281868
N_{ort} ($cm^3/cm^2\sqrt{dk}$)				0.024787856			

Çizelge A.1 (devamı): Numunelere ait kapiler su emme deney sonuçları.

LC-S2-2.75							
taban alanı ($cm^{2)}$	16.67	16.35	16.58		1	2	3
ortam nemi ağırlığı (gr)	500.11	487.67	497.98				
ilk ağırlık (gr)	500.82	488.57	498.8	N1	0.07618476	0.08562691	0.0778046
4 dk ağırlık (gr)	501.3	489.08	499.22	N2	0.0524895	0.05840979	0.0515682
9 dk ağırlık (gr)	501.71	489.55	499.59	N3	0.04319136	0.04852192	0.0418175
16 dk ağırlık (gr)	502.1	490.01	499.97	N4	0.03824235	0.04342508	0.0370929
25 dk ağırlık (gr)	502.48	490.5	500.34	N5	0.16366906	0.04073394	0.0341375
36 dk ağırlık (gr)	502.84	490.95	500.72	N6	0.03289342	0.03853211	0.0322678
49 dk ağırlık (gr)	503.2	491.38	501.08	N7	0.03127946	0.03678462	0.03076
1 s 4 dk ağırlık (gr)	503.53	491.83	501.42	N8	0.02984403	0.03562691	0.0294783
1 s 21 dk ağırlık (gr)	503.85	492.25	501.75	N9	0.02866093	0.0345226	0.0284144
1 s 40 dk ağırlık (gr)	504.12	492.61	502.07	N10	0.02741452	0.03327217	0.027503
2 s 1 dk ağırlık (gr)	504.46	492.95	502.4	N11	0.02677646	0.03213789	0.0268122
2 s 24 dk ağırlık (gr)	504.74	493.26	502.71	N12	0.02594481	0.03103976	0.0261359
2 s 49 dk ağırlık (gr)	505.01	493.6	503	N13	0.02519496	0.03025171	0.0254709
N_{ort} ($cm^3/cm^2\sqrt{dk}$)					0.0462912	0.04222195	0.0360972
N_{ort} ($cm^3/cm^2\sqrt{dk}$)					0.041536771		

Çizelge A.1 (devamı): Numunelere ait kapiler su emme deney sonuçları.

LC-S8-2.75							
taban alanı ($cm^{2)}$	16.57	16.6	16.54		1	2	3
ortam nemi ağırlığı (gr)	531.97	535.36	531.71				
ilk ağırlık (gr)	532.41	535.98	532.36	N1	0.0706095	0.0596386	0.07496977
4 dk ağırlık (gr)	533.18	536.65	532.93	N2	0.0585395	0.0507645	0.05458384
9 dk ağırlık (gr)	533.66	537.16	533.35	N3	0.0486824	0.0442406	0.04483313
16 dk ağırlık (gr)	534	537.48	533.68	N4	0.0416415	0.0380734	0.03860072
25 dk ağırlık (gr)	534.39	537.9	534.01	N5	0.0380205	0.0355963	0.03486128
36 dk ağırlık (gr)	534.8	538.83	534.36	N6	0.0358077	0.0391437	0.03256936
49 dk ağırlık (gr)	535.19	538.71	534.7	N7	0.0340547	0.0325033	0.03084611
1 s 4 dk ağırlık (gr)	535.55	539.09	534.99	N8	0.0325136	0.0313456	0.02917672
1 s 21 dk ağırlık (gr)	535.87	539.43	535.29	N9	0.0310467	0.0301733	0.02794532
1 s 40 dk ağırlık (gr)	536.17	539.74	535.55	N10	0.0297526	0.029052	0.02671894
2 s 1 dk ağırlık (gr)	536.45	540.03	535.8	N11	0.028584	0.0280234	0.02566071
2 s 24 dk ağırlık (gr)	536.74	540.32	536.04	N12	0.0276604	0.0271662	0.02472859
2 s 49 dk ağırlık (gr)	537.02	540.58	536.26	N13	0.0268326	0.0262997	0.02384708
N_{ort} ($cm^3/cm^2\sqrt{dk}$)					0.0387497	0.0363093	0.0361032
N_{ort} ($cm^3/cm^2\sqrt{dk}$)				0.037054042			

Çizelge A.1 (devamı): Numunelere ait kapiler su emme deney sonuçları.

LC-B8-2.75							
taban alanı ($cm^{2)}$	16.68	16.19	16.54		1	2	3
ortam nemi ağırlığı (gr)	737.99	731.72	742.71				
ilk ağırlık (gr)	738.23	732.18	742.94	N1	0.05275779	0.06856084	0.05380895
4 dk ağırlık (gr)	739.07	733.1	743.87	N2	0.05155875	0.06269302	0.05501814
9 dk ağırlık (gr)	739.36	733.36	744.15	N3	0.04016787	0.04714845	0.04232164
16 dk ağırlık (gr)	739.66	733.64	744.44	N4	0.0346223	0.03968499	0.03612455
25 dk ağırlık (gr)	739.94	733.89	744.7	N5	0.03105516	0.03483632	0.03204353
36 dk ağırlık (gr)	740.21	734.12	744.96	N6	0.02857714	0.03139798	0.02932285
49 dk ağırlık (gr)	740.41	734.32	745.19	N7	0.02620761	0.02867731	0.0271204
1 s 4 dk ağırlık (gr)	740.62	734.51	745.37	N8	0.0245054	0.0265596	0.02509069
1 s 21 dk ağırlık (gr)	740.77	734.67	745.55	N9	0.02278177	0.02470661	0.02351202
1 s 40 dk ağırlık (gr)	740.91	734.83	745.7	N10	0.02134293	0.02322421	0.02206771
2 s 1 dk ağırlık (gr)	741.06	734.97	745.86	N11	0.02022019	0.02189904	0.02094097
2 s 24 dk ağırlık (gr)	741.19	735.12	746	N12	0.01918465	0.0208462	0.01990125
2 s 49 dk ağırlık (gr)	741.3	735.23	746.13	N13	0.0182162	0.01976529	0.01897498
N_{ort} ($cm^3/cm^2\sqrt{dk}$)					0.03009213	0.03461537	0.03124982
N_{ort} ($cm^3/cm^2\sqrt{dk}$)					0.031985777		

Çizelge A.1 (devamı): Numunelere ait kapiler su emme deney sonuçları.

LC-R8-2.75							
taban alanı ($cm^{2)}$	16.83	16.81	16.75		1	2	3
ortam nemi ağırlığı (gr)	275.68	277.5	276.79				
ilk ağırlık (gr)	276.21	278.55	277.32	N1	0.23410576	0.33610946	0.2597015
4 dk ağırlık (gr)	276.86	278.67	277.78	N2	0.13636364	0.17162403	0.1435821
9 dk ağırlık (gr)	277.24	278.98	278.07	N3	0.09843533	0.12056316	0.1014925
16 dk ağırlık (gr)	277.58	279.3	278.25	N4	0.07887701	0.09518144	0.078806
25 dk ağırlık (gr)	277.9	279.58	278.52	N5	0.06690434	0.0794765	0.0662687
36 dk ağırlık (gr)	278.15	279.84	278.75	N6	0.05822935	0.06880825	0.0575124
49 dk ağırlık (gr)	278.41	280.05	278.93	N7	0.05211782	0.06076315	0.0508316
1 s 4 dk ağırlık (gr)	278.66	280.29	279.14	N8	0.04745989	0.05495241	0.0460448
1 s 21 dk ağırlık (gr)	278.9	280.53	279.36	N9	0.04377104	0.05043294	0.0423881
1 s 40 dk ağırlık (gr)	279.14	280.75	279.56	N10	0.04081996	0.04669839	0.0393433
2 s 1 dk ağırlık (gr)	279.37	280.98	279.79	N11	0.03835143	0.04369693	0.0370149
2 s 24 dk ağırlık (gr)	279.57	281.18	279.95	N12	0.03614577	0.041047	0.0347264
2 s 49 dk ağırlık (gr)	279.75	281.35	280.12	N13	0.03418803	0.03866746	0.0328358
N_{ort} ($cm^3/cm^2\sqrt{dk}$)					0.07428995	0.0929247	0.076196
N_{ort} ($cm^3/cm^2\sqrt{dk}$)				0.081136884			

Çizelge A.1 (devamı): Numunelere ait kapiler su emme deney sonuçları.

LC-2B1R8-2.75							
taban alanı ($cm^{2)}$	17.37	17.13	16.7		1	2	3
ortam nemi ağırlığı (gr)	611.9	623.7	607.8				
ilk ağırlık (gr)	612.9	624.7	609.1	N1	0.4127807	0.408056	0.48023952
4 dk ağırlık (gr)	614.1	625.6	610.5	N2	0.2409326	0.2302977	0.28203593
9 dk ağırlık (gr)	614.8	626.1	611.4	N3	0.1740549	0.1632613	0.20598802
16 dk ağırlık (gr)	615.4	626.6	612.1	N4	0.1391767	0.1297431	0.16497006
25 dk ağırlık (gr)	616	627.1	612.8	N5	0.1182499	0.1096322	0.14035928
36 dk ağırlık (gr)	616.5	627.5	613.5	N6	0.1033391	0.095252	0.1239521
49 dk ağırlık (gr)	617.1	627.9	614	N7	0.093511	0.0849804	0.11052181
1 s 4 dk ağırlık (gr)	617.5	628.2	614.6	N8	0.0847006	0.076547	0.1011976
1 s 21 dk ağırlık (gr)	618	628.6	615.2	N9	0.0784878	0.0706363	0.09394544
1 s 40 dk ağırlık (gr)	618.4	628.9	615.7	N10	0.0729419	0.065324	0.08754491
2 s 1 dk ağırlık (gr)	618.8	629.3	616.1	N11	0.0684042	0.0615083	0.08176375
2 s 24 dk ağırlık (gr)	619.2	629.6	616.6	N12	0.0646229	0.057842	0.07744511
2 s 49 dk ağırlık (gr)	619.9	630.2	617.1	N13	0.0627519	0.0560869	0.07379088
N_{ort} ($cm^3/cm^2\sqrt{dk}$)					0.1318426	0.1237821	0.15567342
N_{ort} ($cm^3/cm^2\sqrt{dk}$)				0.137099383			

Çizelge A.1 (devamı): Numunelere ait kapiler su emme deney sonuçları.

LC-2R1B8-2.75							
taban alanı ($cm^{2)}$	17.03	17.18	17.12		1	2	3
ortam nemi ağırlığı (gr)	446.27	458.76	450.53				
ilk ağırlık (gr)	446.7	459.2	451.11	N1	0.19377569	0.18451688	0.19392523
4 dk ağırlık (gr)	447.36	459.79	451.55	N2	0.11626541	0.10942957	0.10981308
9 dk ağırlık (gr)	447.75	460.12	451.88	N3	0.08514386	0.07935584	0.07963396
16 dk ağırlık (gr)	448.12	460.47	452.2	N4	0.06928949	0.06461001	0.06439836
25 dk ağırlık (gr)	448.5	460.8	452.52	N5	0.0598943	0.05552969	0.05525701
36 dk ağırlık (gr)	448.79	461.06	452.77	N6	0.05275005	0.04879705	0.04848131
49 dk ağırlık (gr)	449.07	461.32	453.03	N7	0.04756312	0.04398803	0.04372497
1 s 4 dk ağırlık (gr)	449.33	461.53	453.23	N8	0.04352613	0.04001746	0.03971963
1 s 21 dk ağırlık (gr)	449.58	461.74	453.43	N9	0.040321	0.03692925	0.03660436
1 s 40 dk ağırlık (gr)	449.89	461.99	453.66	N10	0.03810922	0.0346915	0.03428738
2 s 1 dk ağırlık (gr)	450.02	462.11	453.79	N11	0.03533871	0.03217272	0.03186066
2 s 24 dk ağırlık (gr)	450.23	462.3	453.96	N12	0.03342141	0.03041327	0.0300331
2 s 49 dk ağırlık (gr)	450.42	462.44	454.13	N13	0.03170875	0.02870064	0.0284867
N_{ort} ($cm^3/cm^2\sqrt{dk}$)					0.06516209	0.06070399	0.06124814
N_{ort} ($cm^3/cm^2\sqrt{dk}$)	0.062371405						

Çizelge A.1 (devamı): Numunelere ait kapiler su emme deney sonuçları.

LC-2B1R8-2							
taban alanı ($cm^{2)}$	17.64	17.21	16.58		1	2	3
ortam nemi ağırlığı (gr)	580.7	564.3	546.4				
ilk ağırlık (gr)	582.3	565.9	548.7	N1	0.15873016	0.15688553	0.2110977
4 dk ağırlık (gr)	583.5	567.1	550	N2	0.11337868	0.11330622	0.1447527
9 dk ağırlık (gr)	584.5	568	551.2	N3	0.09448224	0.0929692	0.1206273
16 dk ağırlık (gr)	585.3	569	552.2	N4	0.08219955	0.08425334	0.1055489
25 dk ağırlık (gr)	586.1	569.7	553.1	N5	0.07482993	0.07553748	0.0952955
36 dk ağırlık (gr)	586.8	570.4	554	N6	0.06897203	0.0697269	0.08846
49 dk ağırlık (gr)	587.4	571.2	554.9	N7	0.06397797	0.06640657	0.0835775
1 s 4 dk ağırlık (gr)	588	571.8	555.6	N8	0.06023243	0.06246368	0.0784077
1 s 21 dk ağırlık (gr)	588.5	572.5	556.3	N9	0.05668934	0.06004261	0.0743868
1 s 40 dk ağırlık (gr)	589	573.1	556.9	N10	0.05385488	0.05752469	0.0705669
2 s 1 dk ağırlık (gr)	589.4	573.6	557.4	N11	0.05102041	0.05493635	0.0668933
2 s 24 dk ağırlık (gr)	589.7	574	557.9	N12	0.04818594	0.05229518	0.0638319
2 s 49 dk ağırlık (gr)	590.1	574.4	558.3	N13	0.04622362	0.05006034	0.0607776
N_{ort} ($cm^3/cm^2\sqrt{dk}$)					0.07482901	0.07664678	0.097248
N_{ort} ($cm^3/cm^2\sqrt{dk}$)				0.082907925			

Çizelge A.1 (devamı): Numunelere ait kapiler su emme deney sonuçları.

LC-2R1B8-2							
taban alanı ($cm^{2)}$	16.61	16.87	16.85		1	2	3
ortam nemi ağırlığı (gr)	428	432.47	449.43				
ilk ağırlık (gr)	428.76	433.37	450.52	N1	0.1059603	0.0812092	0.09020772
4 dk ağırlık (gr)	429.18	433.84	450.88	N2	0.0656231	0.0545347	0.05578635
9 dk ağırlık (gr)	429.53	434.13	451.18	N3	0.0507726	0.0420865	0.04312562
16 dk ağırlık (gr)	429.81	434.42	451.44	N4	0.0422938	0.0358625	0.03620178
25 dk ağırlık (gr)	430.07	434.76	451.74	N5	0.0369657	0.0327208	0.03252226
36 dk ağırlık (gr)	430.31	435.08	452.05	N6	0.0332129	0.0304288	0.03016815
49 dk ağırlık (gr)	430.56	435.38	452.31	N7	0.0306184	0.0286222	0.02806274
1 s 4 dk ağırlık (gr)	430.78	435.67	452.58	N8	0.0284467	0.0271932	0.02655786
1 s 21 dk ağırlık (gr)	431	435.91	452.83	N9	0.0267576	0.0257525	0.02525552
1 s 40 dk ağırlık (gr)	431.17	436.14	453.04	N10	0.0251054	0.0245406	0.02397626
2 s 1 dk ağırlık (gr)	431.38	436.36	453.24	N11	0.0239724	0.0234952	0.02287564
2 s 24 dk ağırlık (gr)	431.54	436.58	453.42	N12	0.0227774	0.022624	0.02185955
2 s 49 dk ağırlık (gr)	431.71	436.75	453.6	N13	0.0218126	0.0216588	0.02099977
N_{ort} ($cm^3/cm^2\sqrt{dk}$)					0.039563	0.0346715	0.03519994
N_{ort} ($cm^3/cm^2\sqrt{dk}$)				0.036478136			

Çizelge A.1 (devamı): Numunelere ait kapiler su emme deney sonuçları.

LC-2B1R8-3.5							
taban alanı ($cm^{2)}$	16.94	17.43	17.16		1	2	3
ortam nemi ağırlığı (gr)	590.3	603.8	606				
ilk ağırlık (gr)	591	604.2	606.3	N1	0.10035419	0.04689332	0.04079254
4 dk ağırlık (gr)	591.7	604.5	606.8	N2	0.07083825	0.03223916	0.03496503
9 dk ağırlık (gr)	592.2	604.8	607	N3	0.05706415	0.02735444	0.02719503
16 dk ağırlık (gr)	592.6	605.2	607.4	N4	0.0487013	0.02637749	0.02622378
25 dk ağırlık (gr)	592.9	605.5	607.7	N5	0.04250295	0.02461899	0.02447552
36 dk ağırlık (gr)	593.2	605.9	608	N6	0.03837072	0.0244236	0.02331002
49 dk ağırlık (gr)	593.6	606.2	608.3	N7	0.03626244	0.02344666	0.02247752
1 s 4 dk ağırlık (gr)	593.8	606.5	608.6	N8	0.03320543	0.02271395	0.02185315
1 s 21 dk ağırlık (gr)	594.1	606.8	608.9	N9	0.03148367	0.02214407	0.02136752
1 s 40 dk ağırlık (gr)	594.5	607.1	609.2	N10	0.03069658	0.02168816	0.02097902
2 s 1 dk ağırlık (gr)	594.7	607.4	609.5	N11	0.02897929	0.02131514	0.02066116
2 s 24 dk ağırlık (gr)	595	607.6	609.7	N12	0.02804014	0.02051583	0.01991064
2 s 49 dk ağırlık (gr)	595.2	607.8	609.9	N13	0.02679139	0.01983948	0.0192756
N_{ort} ($cm^3/cm^2\sqrt{dk}$)					0.04409927	0.02565925	0.02488358
N_{ort} ($cm^3/cm^2\sqrt{dk}$)	0.03154						

Çizelge A.2: Numunelere ait su emme deney sonuçları.

	Numune Adı								
	PC-S2-2.75			LC-S2-2.75			LC-S8-2.75		
etüv kurusu (gr)	550.21	559.52	552.92	499.55	487.17	497.51	531.24	534.99	531.12
ortam nem ağırlığı (gr)	550.81	560.3	553.51	500.11	487.67	497.98	531.97	535.36	531.71
suya doymuş ağırlık (gr)	579.83	588.49	580.51	551.5	539.84	548.75	572.01	573.97	570.66
su içindeki ağırlık (gr)	320.83	324.94	321.21	288.12	281.12	286.81	308.95	310.43	308.15
su emme (%)	5.38	5.18	4.99	10.40	10.81	10.30	7.67	7.29	7.44
su emme ort. (%)		5.18			10.5			7.47	
özgül ağırlık ort.(gr/cm^3)		2.40			2.36			2.39	
görünür porozite (%)	11.44	10.99	10.64	19.72	20.36	19.56	15.50	14.79	15.06
görünür porozite ort.(%)		11.02			19.88			15.12	

	Numune Adı								
	LC-B8-2.75			LC-R8-2.75			LC-2B1R8-2.75		
etüv kurusu (gr)	737.35	731.07	742.05	272.27	272.9	272.97	605.73	617.71	601.08
ortam nem ağırlığı (gr)	737.99	731.72	742.71	275.68	277.5	276.79	611.9	623.7	607.8
suya doymuş ağırlık (gr)	767.57	761.99	774.47	319.3	320.43	322.08	665.2	675.3	658.5
su içindeki ağırlık (gr)	504.96	501.54	510.15	55.95	56.71	57.86	388.08	400.76	391.08
su emme (%)	4.10	4.23	4.37	17.27	17.42	17.99	9.82	9.32	9.55
su emme ort. (%)		4.23			17.56			9.56	
özgül ağırlık ort.(gr/cm^3)		3.21			1.3			2.83	
görünür porozite (%)	11.51	11.87	12.27	17.86	18.02	18.59	21.46	20.98	21.47
görünür porozite ort.(%)		11.88			18.16			21.3	

	Numune Adı								
	LC-2R1B8-2.75			LC-2B1R8-2			LC-2R1B8-2		
etüv kurusu (gr)	443.4	456.03	447.79	579.5	563.2	545.2	427	432	449
ortam nem ağırlığı (gr)	446.27	458.76	450.53	580.7	564.3	546.4	428	432.47	449.43
suya doymuş ağırlık (gr)	497.9	502.38	495.78	641.72	625.78	605.87	481.78	481.87	498.89
su içindeki ağırlık (gr)	221.52	230.45	223.46	368.15	358.49	342.56	212.98	216.62	228
su emme (%)	12.29	10.16	10.72	10.74	11.11	11.13	12.83	11.54	11.11
su emme ort. (%)		11.06			10.99			11.83	
özgül ağırlık ort.(gr/cm^3)		2.01			2.73			2	
görünür porozite (%)	19.72	17.04	17.62	22.74	23.41	23.04	20.38	18.80	18.42
görünür porozite ort.(%)		18.13			23.06			19.2	

	Numune Adı					
	LC-2B1R8-3.5			LC-2R1B8-3.5		
etüv kurusu (gr)	589.3	605.6	603.4	399.51	414.91	401.21
ortam nem ağırlığı (gr)	590.3	606	603.8			
suya doymuş ağırlık (gr)	641.73	659.75	653.53	446.16	461.54	448.91
su içindeki ağırlık (gr)	376.86	391.65	386.43	186.75	195.5	189.33
su emme (%)	8.90	9.07	8.94	11.68	11.24	11.89
su emme ort. (%)		8.8			11.66	
özgül ağırlık ort.(gr/cm^3)		2.87			1.88	
görünür porozite (%)	19.79	20.46	20.20	17.98	17.53	18.38
görünür porozite ort.(%)		18.76			17.96	

Çizelge A.3: Numunelere ait kompasite ve porozite deney sonuçları.

	Harç kodları	Birim hacim ağırlık (ρ) (gr/cm^3)	Özgül kütle (ρr) (gr/cm^3)	Kompasite (%)	Porozite (%)	
					Hesap Sonucu	Ortalama Sonuç
PC-S-2-2.75	PC-S2-2.75 1	2.12	2.394	88.55	11.45	
	PC-S2-2.75 2	2.12	2.394	88.55	11.45	11.28
	PC-S2-2.75 3	2.13	2.393	89.01	10.99	
LC-S-2-2.75	LC-S2-2.75 1	1.9	2.359	80.54	19.46	
	LC-S2-2.75 2	1.88	2.361	79.63	20.37	20
	LC-S2-2.75 3	1.9	2.36	80.51	19.49	
LC-S-8-2.75	LC-S8-2.75 1	2.02	2.39	84.52	15.48	
	LC-S8-2.75 2	2.03	2.38	85.29	14.71	15.3
	LC-S8-2.75 3	2.02	2.4	84.17	15.83	
LC-B-8-2.75	LC-B8-2.75 1	2.81	3.23	87.00	13.00	
	LC-B8-2.75 2	2.81	3.21	87.54	12.46	12.54
	LC-B8-2.75 3	2.81	3.2	87.81	12.19	
LC-R-8-2.75	LC-R8-2.75 1	1.03	1.29	79.84	20.16	
	LC-R8-2.75 2	1.04	1.3	80.00	20.00	20.47
	LC-R8-2.75 3	1.035	1.315	78.71	21.29	
LC-2B1R8-2.75	LC-2B1R8-2.75 1	2.19	2.83	77.39	22.61	
	LC-2B1R8-2.75 2	2.18	2.84	76.76	23.24	22.66
	LC-2B1R8-2.75 3	2.2	2.82	78.01	21.99	

Çizelge A.3 (devamı): Numunelere ait kompasite ve porozite deney sonuçları.

	Harç kodları	Birim hacim ağırlık (ρ) (gr/cm^3)	Özgül kütle (ρr) (gr/cm^3)	Kompasite (%)	Porozite (%)	
					Hesap Sonucu	Ortalama Sonuç
LC-2R1B-8-2.75	LC-2R1B8-2.75 1	1.6	2.001	79.96	20.04	
	LC-2R1B8-2.75 2	1.68	2.013	83.46	16.54	18.31
	LC-2R1B8-2.75 3	1.64	2.011	81.55	18.45	
LC-2B1R-8-2	LC-2B1R8-2 1	2.12	2.735	77.51	22.49	
	LC-2B1R8-2 2	2.1	2.73	76.92	23.08	23.13
	LC-2B1R8-2 3	2.07	2.72	76.10	23.90	
LC-2R1B-8-2	LC-2R1B8-2 1	1.59	1.99	79.90	20.10	
	LC-2R1B8-2 2	1.63	2	81.50	18.50	18.76
	LC-2R1B8-2 3	1.66	2.015	82.38	17.62	
LC-2B1R-8-3.5	LC-2B1R8-3.5 1	2.22	2.87	77.35	22.65	
	LC-2B1R8-3.5 2	2.25	2.86	78.67	21.33	21.6
	LC-2B1R8-3.5 3	2.26	2.855	79.16	20.84	
LC-2R1B-8-3.5	LC-2R1B8-3.5 1	1.54	1.88	81.91	18.09	
	LC-2R1B8-3.5 2	1.56	1.885	82.76	17.24	17.64
	LC-2R1B8-3.5 3	1.55	1.88	82.45	17.55	

Çizelge A.4: Numunelere ait elastiklik modülü deney sonuçları.

Harç kodları		Birim hacim ağırlık (ρ) (gr/cm^3)	Ultrases hızı (km/s)	Elastiklik modülü (MPa)	
				Hesap Sonucu	Ortalama Sonuç
	PC-S2-2.75 1	2.12	3.65	28301.83	
PC-S-2-2.75	PC-S2-2.75 2	2.12	3.64	28129.07	28279.74
	PC-S2-2.75 3	2.13	3.65	28408.32	
	LC-S2-2.75 1	1.9	3.14	18700.60	
LC-S-2-2.75	LC-S2-2.75 2	1.88	3.14	18565.64	18945.70
	LC-S2-2.75 3	1.9	3.21	19570.87	
	LC-S8-2.75 1	2.02	3.33	22393.63	
LC-S-8-2.75	LC-S8-2.75 2	2.03	3.41	23605.21	23175.08
	LC-S8-2.75 3	2.02	3.41	23526.40	
	LC-B8-2.75 1	2.81	3.08	26635.68	
LC-B-8-2.75	LC-B8-2.75 2	2.81	3.05	26111.65	26173.91
	LC-B8-2.75 3	2.81	3.03	25774.39	
	LC-R8-2.75 1	1.03	1.10	1250.98	
LC-R-8-2.75	LC-R8-2.75 2	1.04	1.04	1119.25	1177.01
	LC-R8-2.75 3	1.035	1.06	1160.81	
	LC-2B1R8-2.75 1	2.19	1.11	2693.13	
LC-2B1R8-2.75	LC-2B1R8-2.75 2	2.18	1.14	2833.13	2729.42
	LC-2B1R8-2.75 3	2.2	1.1	2662.00	
	LC-2R1B8-2.75 1	1.6	0.92	1357.89	
LC-2R1B-8-2.75	LC-2R1B8-2.75 2	1.68	0.94	1481.81	1380.73
	LC-2R1B8-2.75 3	1.64	0.89	1302.49	
	LC-2B1R8-2 1	2.12	1.08	2470.77	
LC-2B1R-8-2	LC-2B1R8-2 2	2.1	1.03	2235.40	2191.62
	LC-2B1R8-2 3	2.07	0.95	1868.68	
	LC-2R1B8-2 1	1.59	1.13	2028.41	
LC-2R1B-8-2	LC-2R1B8-2 2	1.63	1.22	2424.09	2189.65
	LC-2R1B8-2 3	1.66	1.13	2116.46	
	LC-2B1R8-3.5 1	2.22	1.067	2527.45	
LC-2B1R-8-3.5	LC-2B1R8-3.5 2	2.25	1.096	2702.74	2604.85
	LC-2B1R8-3.5 3	2.26	1.069	2582.64	
	LC-2R1B8-3.5 1	1.54	1.10	1863.48676	
LC-2R1B-8-3.5	LC-2R1B8-3.5 2	1.56	1.09	1852.93404	1817.69
	LC-2R1B8-3.5 3	1.55	1.06	1736.6498	

Çizelge A.5: Numunelere ait eğilmede çekme ve basınç dayanımı deney sonuçları.

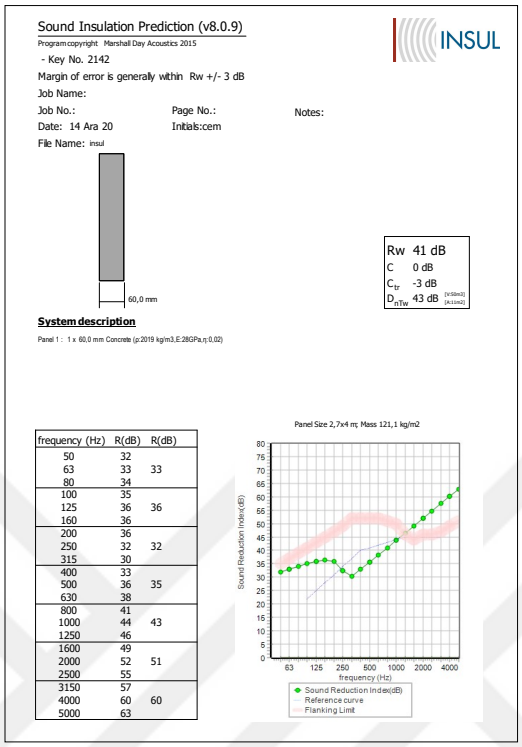
harç kodları		eğilme (N)	eğilme ort.(N)	eğilme dayanımı (N/mm2)	eğilme dayanımı ort. (N/mm2)	basınç (N)	basınç ort (N)	basınç dayanımı (N/mm2)	basınç dayanımı ort. (N/mm2)
	PC-S-2-2.75 1	2240		7.88		62000		38.81	
						69800		43.69	
PC-S-2-2.75	PC-S-2-2.75 2	1910	2070	6.55	**7.19**	75000	69933.33	45.97	**43.25**
						67000		41.06	
	PC-S-2-2.75 3	2060		7.15		72000		44.44	
						73800		45.56	
	LC-S-2-2.75 1	1010		3.33		47400		29.89	
						49420		29.80	
LC-S-2-2.75	LC-S-2-2.75 2	1120	1096.66	3.63	**3.56**	51600	48934	32.40	**30.82**
						56400		35.41	
	LC-S-2-2.75 3	1160		3.72		39850		24.79	
						-		-	
	LC-S-8-2.75 1	1700		5.41		66000		40.92	
						47000		29.14	
LC-S-8-2.75	LC-S-8-2.75 2	1870	1820	6.03	**5.84**	71000	66533.33	44.49	**41.32**
						71200		44.61	
	LC-S-8-2.75 3	1890		6.09		71400		44.02	
						72600		44.76	
	LC-B-8-2.75 1	1700		5.44		73200		45.23	
						74000		45.72	
LC-B-8-2.75	LC-B-8-2.75 2	1630	1776.66	5.26	**5.75**	69800	68100	43.33	**42.33**
						57600		35.76	
	LC-B-8-2.75 3	2000		6.54		65800		41.23	
						68200		42.73	
	LC-R-8-2.75 1	360		1.17		4050		2.52	
						4070		2.54	
LC-R-8-2.75	LC-R-8-2.75 2	375	371.66	1.23	**1.22**	4070	4056.66	2.54	**2.52**
						4130		2.58	
	LC-R-8-2.75 3	380		1.25		3990		2.47	
						4030		2.49	
LC-2B1R-8-2.75	LC-2B1R-8-2.75 1	450	433.33	1.43	**1.35**	13100	12716.66	8.15	**7.9**
						13300		8.27	

Çizelge A.5 (devamı): Numunelere ait eğilmede çekme ve basınç dayanımı deney sonuçları

	LC-2B1R-8-2.75 2	390		1.23		12500 12900		7.77 8.02	
	LC-2B1R-8-2.75 3	450		1.43		12200 12300		7.56 7.62	
	LC-2R1B-8-2.75 1	460		1.43		8250 8700		5.13 5.41	
LC-2R1B-8-2.75	LC-2R1B-8-2.75 2	410	453.33	1.30	**1.41**	8100 7940	8016.66	5.05 4.95	**5.1**
	LC-2R1B-8-2.75 3	490		1.52		8070 7040		5.05 4.40	
	LC-2B1R-8-2 1	390		1.21		21500 21600		13.28 13.34	
LC-2B1R-8-2	LC-2B1R-8-2 2	370	373.33	1.20	**1.19**	23000 21170	21820	14.12 13	**13.43**
	LC-2B1R-8-2 3	360		1.19		22100 21550		13.57 13.30	
	LC-2R1B-8-2 1	490		1.62		10000 12850		6.26 8.05	
LC-2R1B-8-2	LC-2R1B-8-2 2	460	475	1.43	**1.52**	12950 11700	11900	8.05 7.27	**7.4**
	LC-2R1B-8-2 3	475		1.52		12100 11800		7.50 7.30	
	LC-2B1R-8-3.5 1	480		1.58		14700 17950		9.21 11.24	
LC-2B1R-8-3.5	LC-2B1R-8-3.5 2	450	363.33	1.50	**1.54**	12850 14100	14650	8.00 8.77	**9.12**
	LC-2B1R-8-3.5 3	460		1.54		11550 16750		7.15 10.38	
	LC-2R1B-8-3.5 1	460		1.51		8600 7350		5.36 4.58	
LC-2R1B-8-3.5	LC-2R1B-8-3.5 2	470	465	1.67	**1.59**	6700 7600	7533.33	4.23 4.80	**4.74**
	LC-2R1B-8-3.5 3	465		1.59		7400 7550		4.68 4.76	

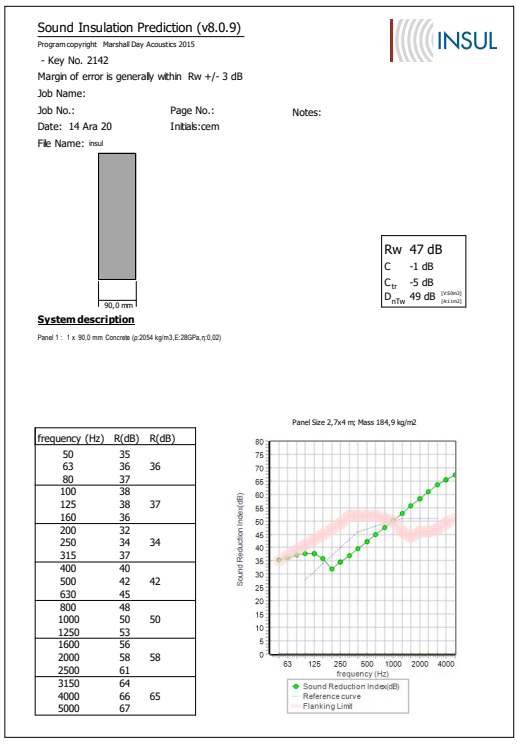
EK B: Akustik deney sonuçları.

EK B.1: INSUL simülasyon sonuçları



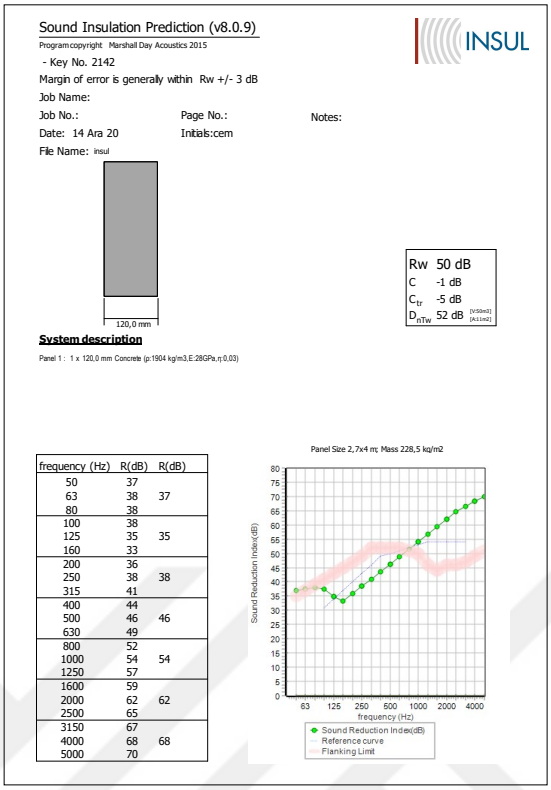
frequency (Hz)	R(dB)	R(dB)
50	32	
63	33	33
80	34	
100	35	
125	36	36
160	36	
200	36	
250	32	32
315	30	
400	33	
500	36	35
630	38	
800	41	
1000	44	43
1250	46	
1600	49	
2000	52	51
2500	55	
3150	57	
4000	60	60
5000	63	

Şekil B.1: PC-S2-2.75 (60 mm)

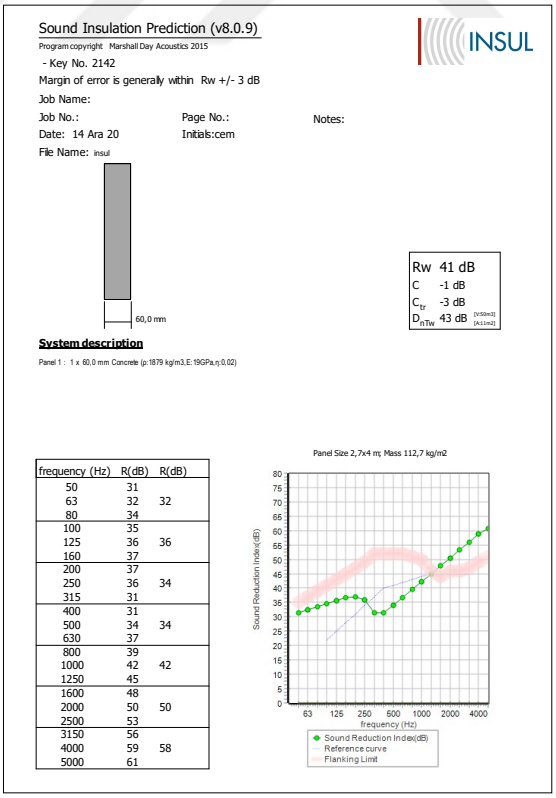


frequency (Hz)	R(dB)	R(dB)
50	35	
63	36	36
80	37	
100	38	
125	38	37
160	36	
200	32	
250	34	34
315	37	
400	40	
500	42	42
630	45	
800	48	
1000	50	50
1250	53	
1600	56	
2000	58	58
2500	61	
3150	64	
4000	66	65
5000	67	

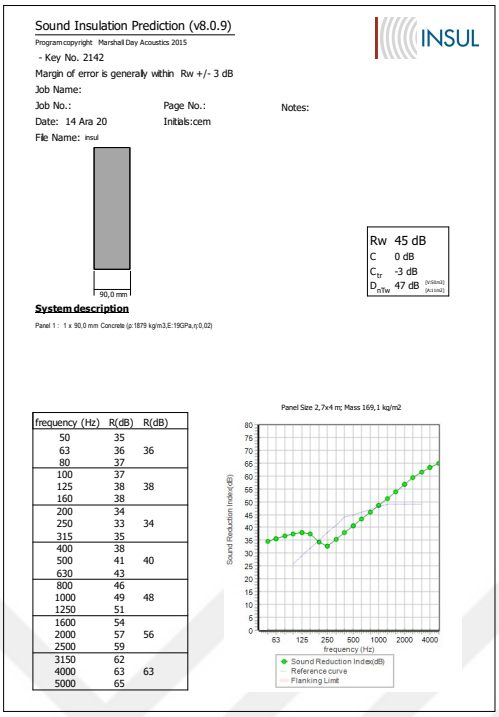
Şekil B.2: PC-S2-2.75 (90 mm)



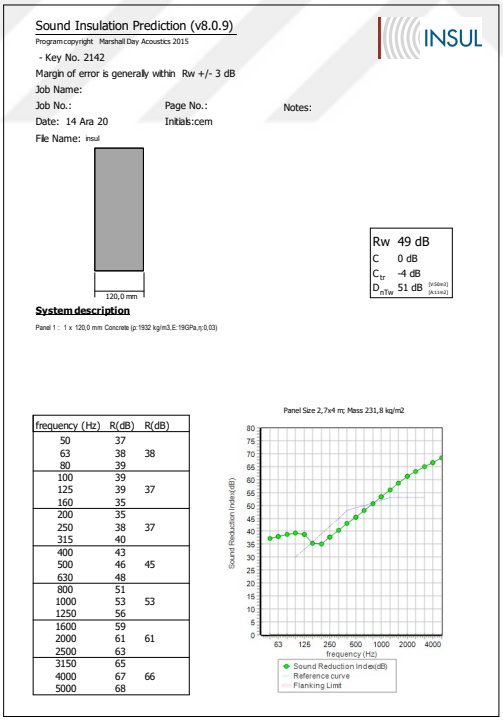
Şekil B.3: PC-S2-2.75 (120 mm)



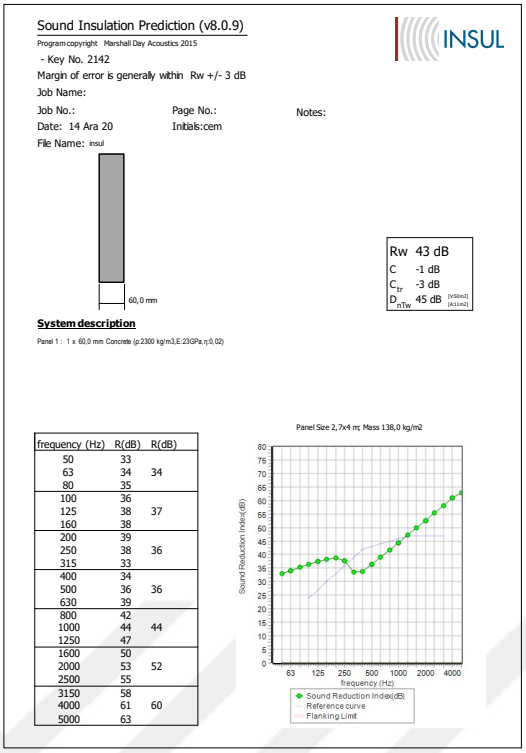
Şekil B.4: LC-S2-2.75 (60 mm)



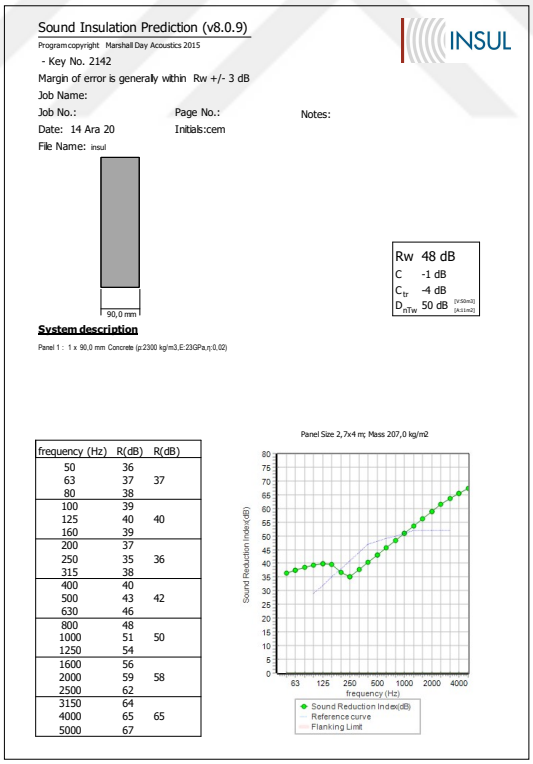
Şekil B.5: LC-S2-2.75 (90 mm)



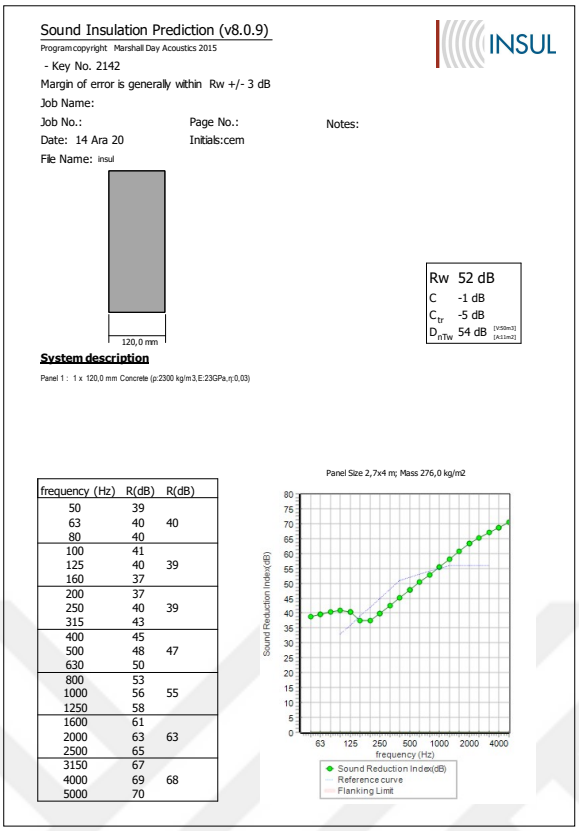
Şekil B.6: LC-S2-2.75 (120 mm)



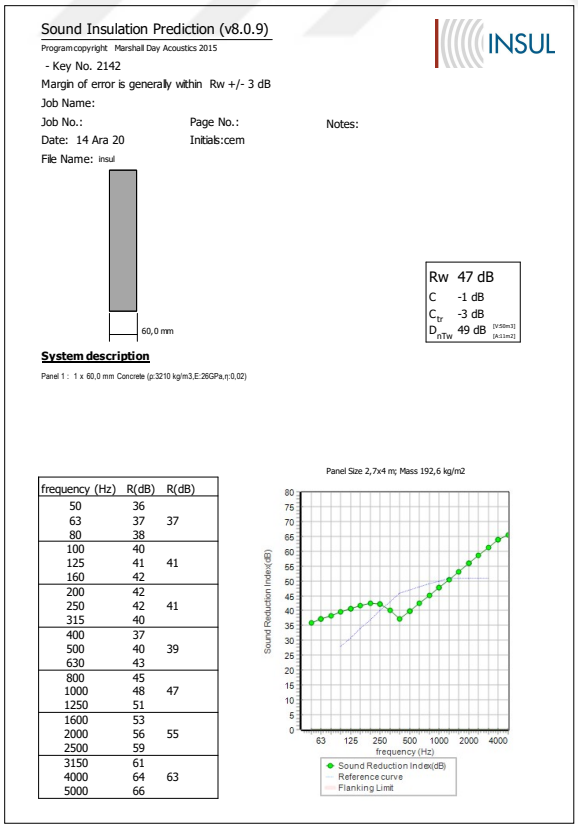
Şekil B.7: LC-S8-2.75 (60 mm)



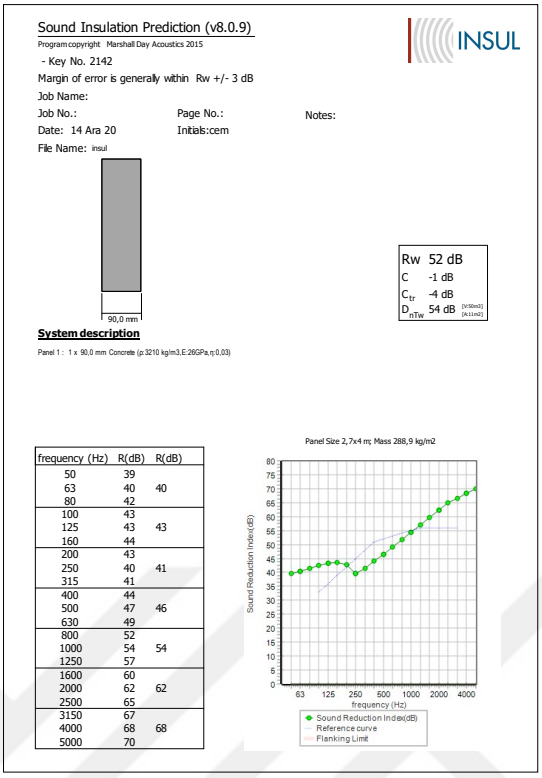
Şekil B.8: LC-S8-2.75 (90 mm)



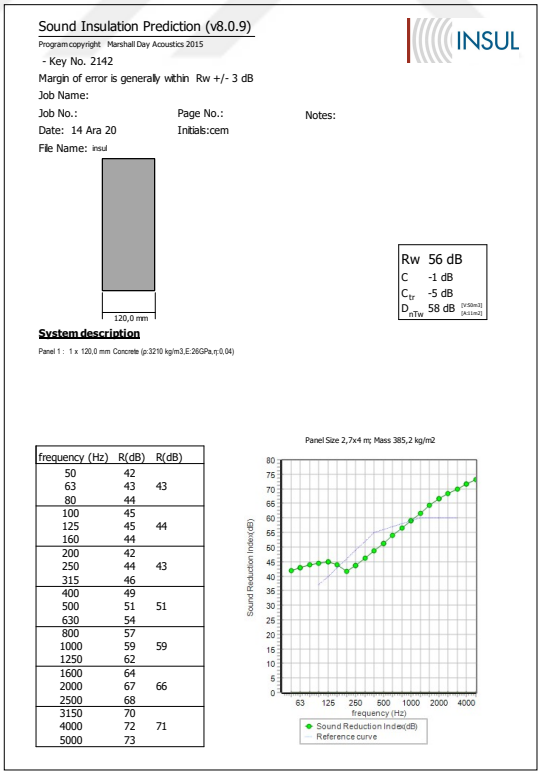
Şekil B.9: LC-S8-2.75 (120 mm)



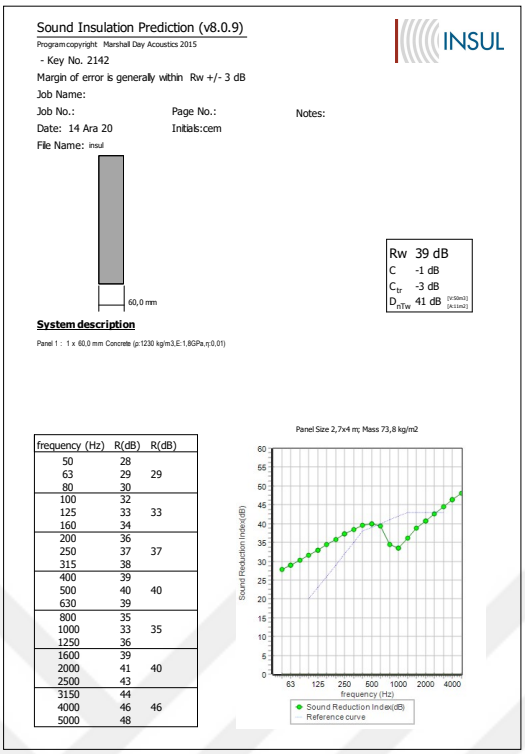
Şekil B.10: LC-B8-2.75 (60 mm)



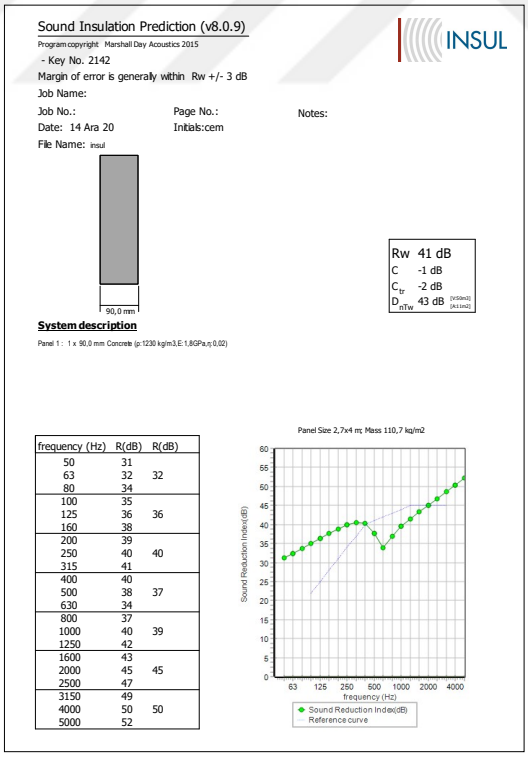
Şekil B.11: LC-B8-2.75 (90 mm)



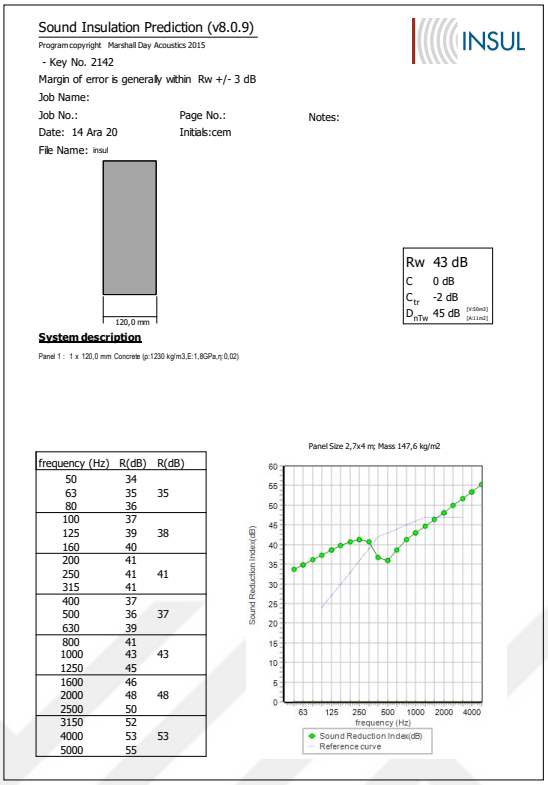
Şekil B.12: LC-B8-2.75 (120 mm)



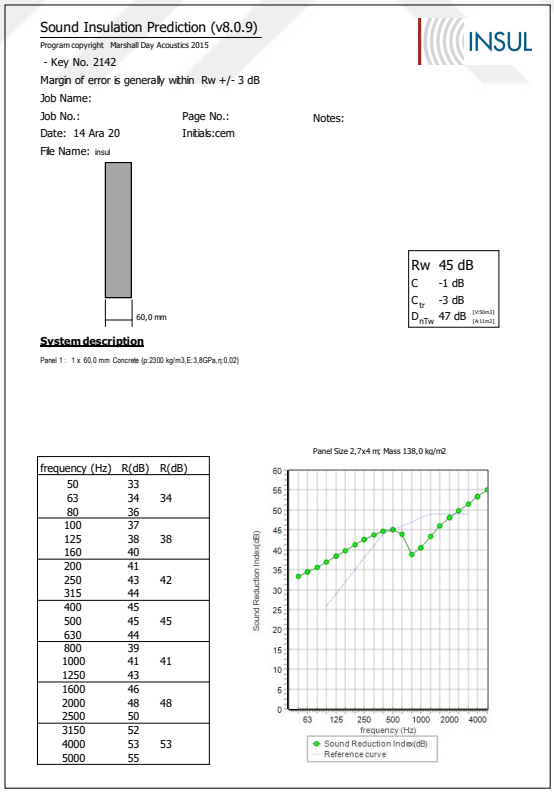
Şekil B.13: LC-R8-2.75 (60 mm)



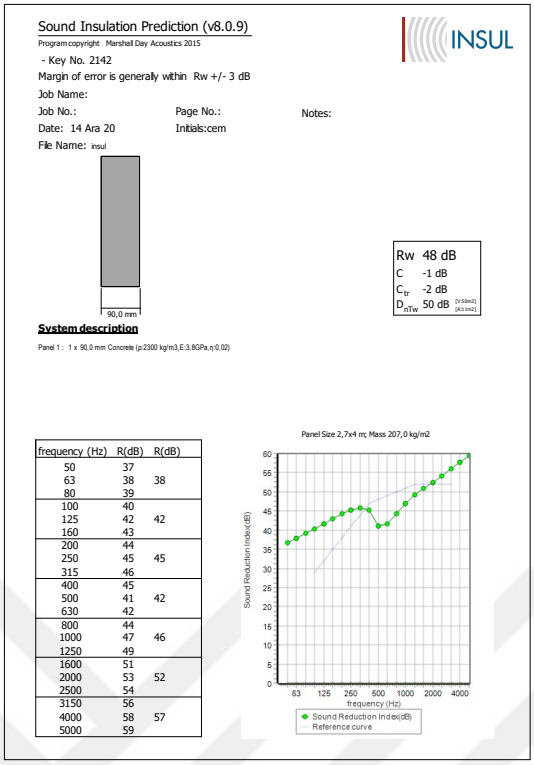
Şekil B.14: LC-R8-2.75 (90 mm)



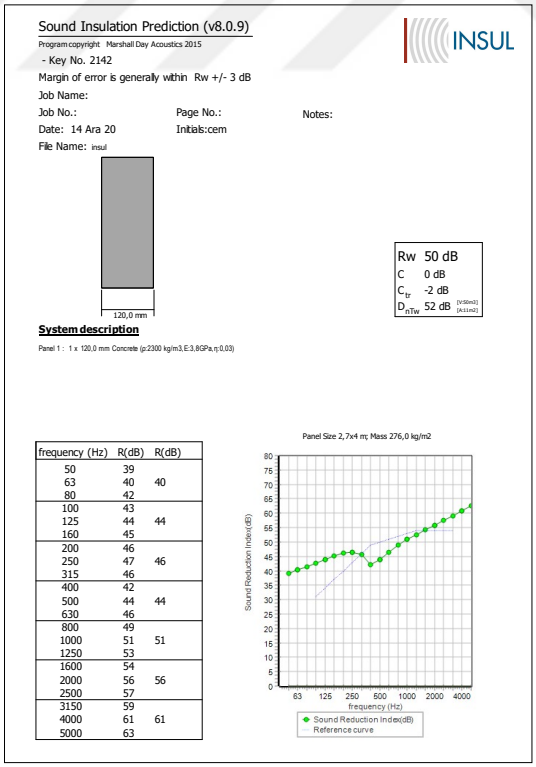
Şekil B.15: LC-R8-2.75 (120 mm)



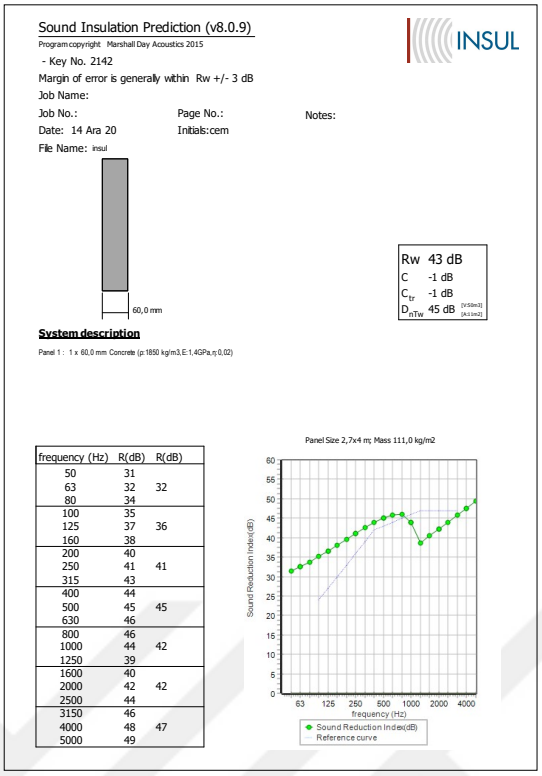
Şekil B.16: LC-2B1R8-2.75 (60 mm)



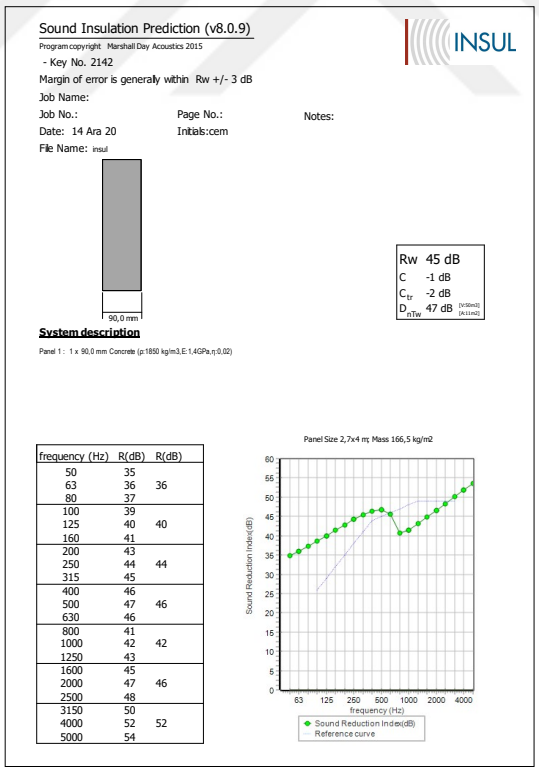
Şekil B.17: LC-2B1R8-2.75 (90 mm)



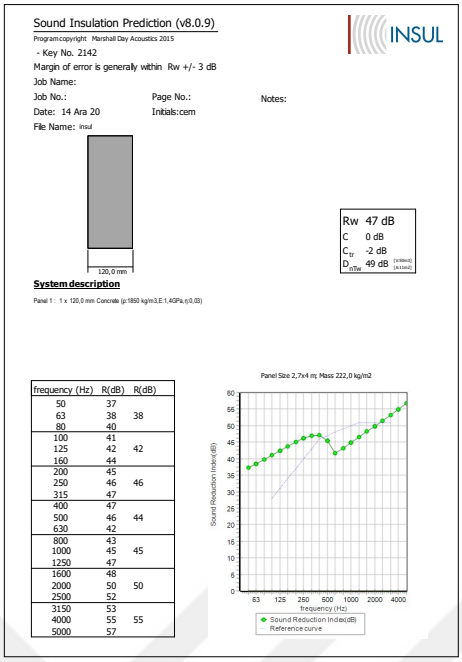
Şekil B.18: LC-2B1R8-2.75 (120 mm)



Şekil B.19: LC-2R1B8-2.75 (60 mm)

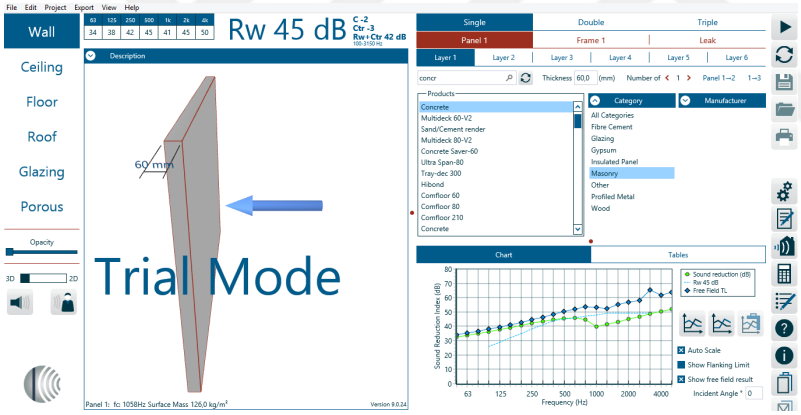


Şekil B.20: LC-2R1B8-2.75 (90 mm)

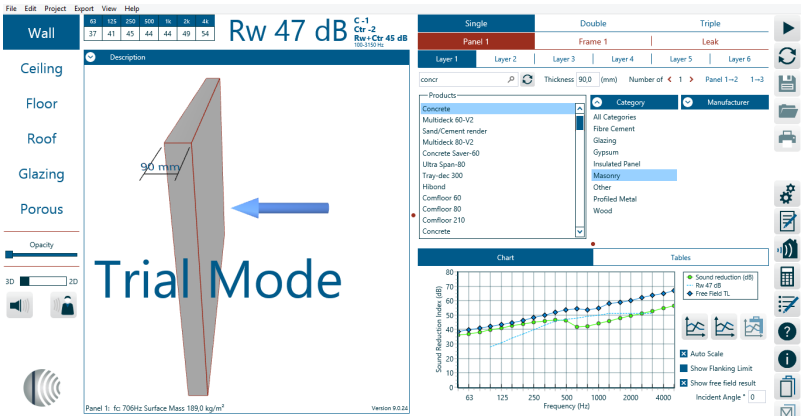


frequency (Hz)	R(dB)	R(dB)
50	37	
63	38	38
80	40	
100	41	
125	42	42
160	44	
200	45	
250	46	46
315	47	
400	47	
500	46	44
630	42	
800	43	
1000	45	45
1250	47	
1600	48	
2000	50	50
2500	52	
3150	53	
4000	55	55
5000	57	

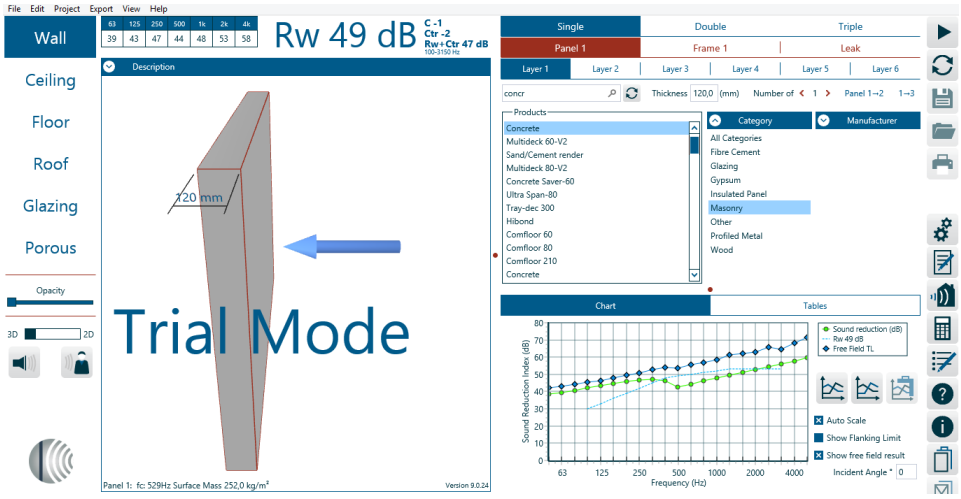
Şekil B.21: LC-2R1B8-2.75 (120 mm)



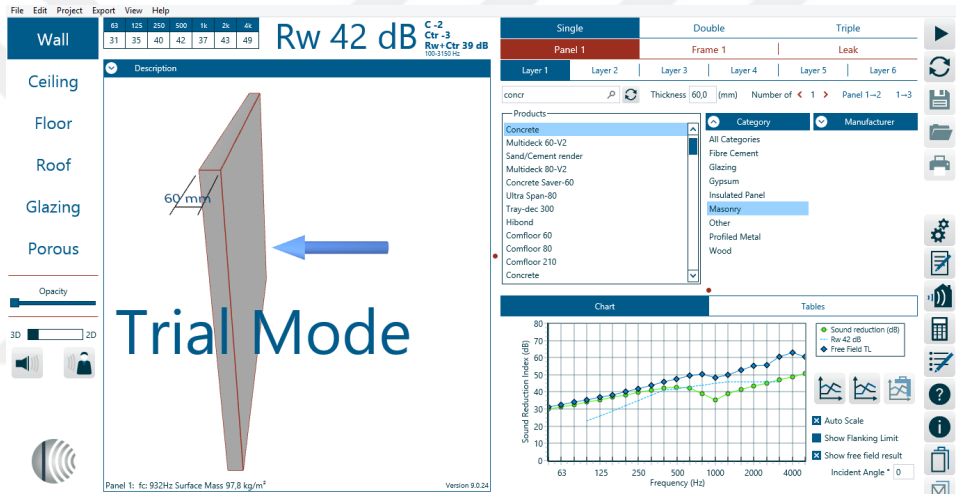
Şekil B.22: LC-2B1R8-2 (60 mm)



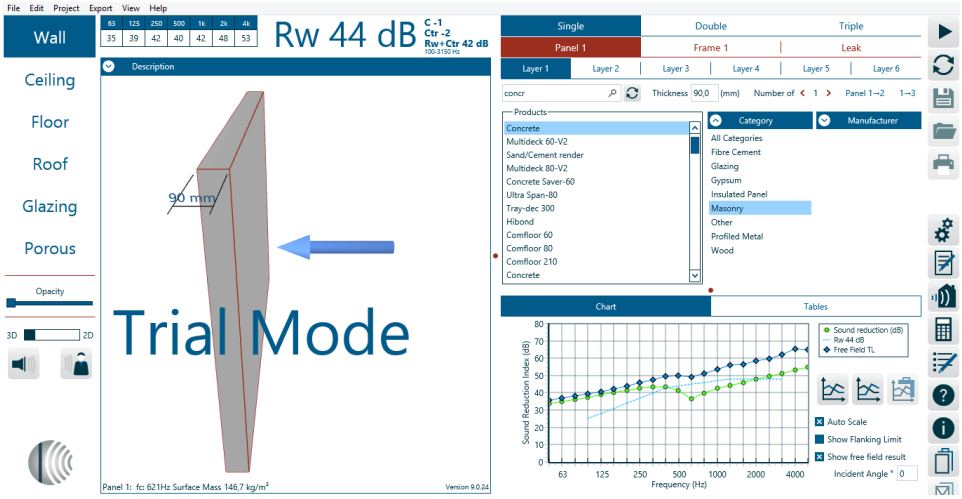
Şekil B.23: LC-2B1R8-2 (90 mm)



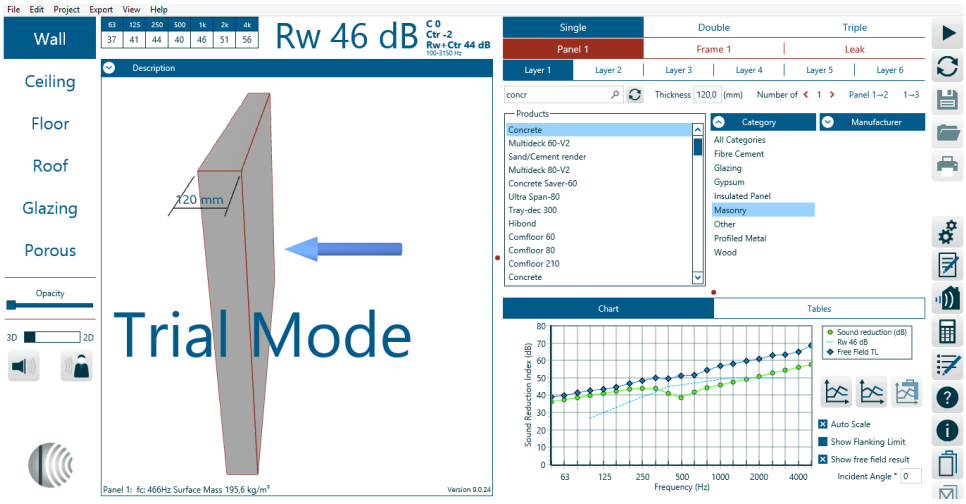
Şekil B.24: LC-2B1R8-2 (120 mm)



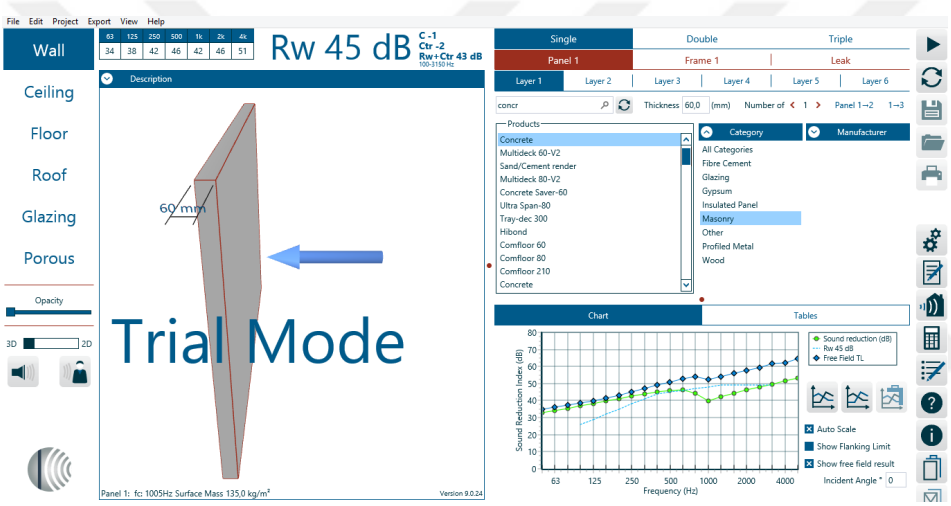
Şekil B.25: LC-2R1B8-2 (60 mm)



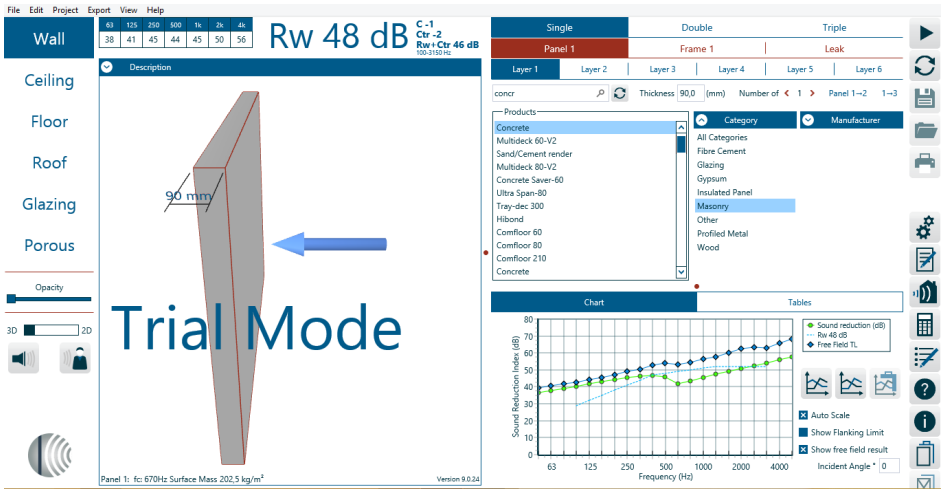
Şekil B.26: LC-2R1B8-2 (90 mm)



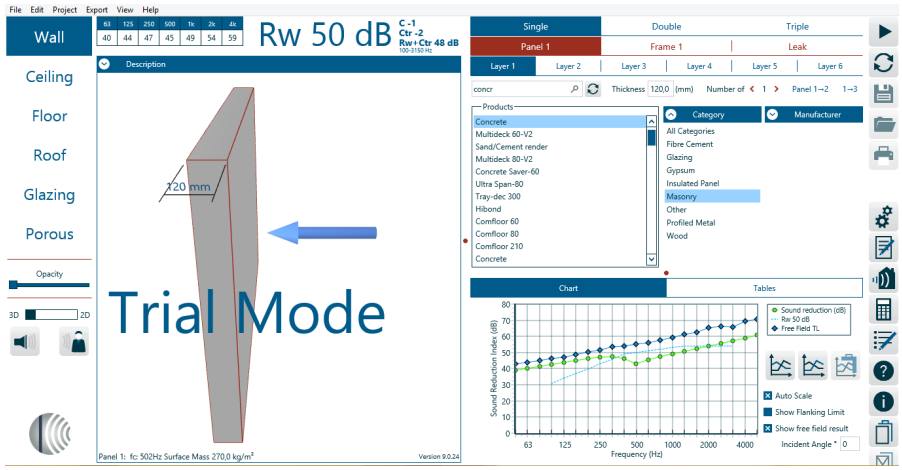
Şekil B.27: LC-2R1B8-2 (120 mm)



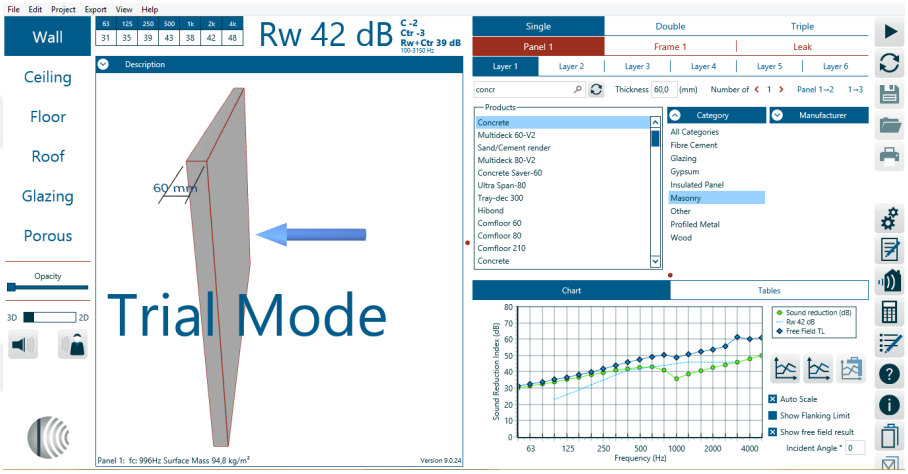
Şekil B.28: LC-2B1R8-3.5 (60 mm)



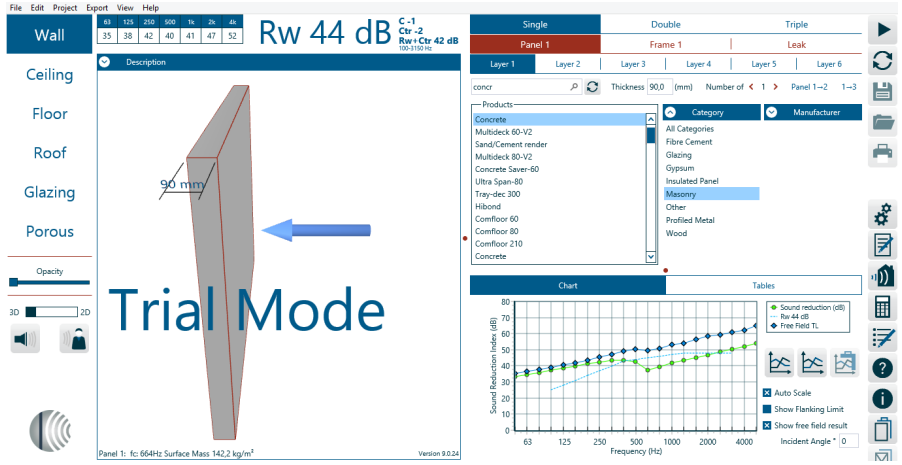
Şekil B.29: LC-2B1R8-3.5 (90 mm)



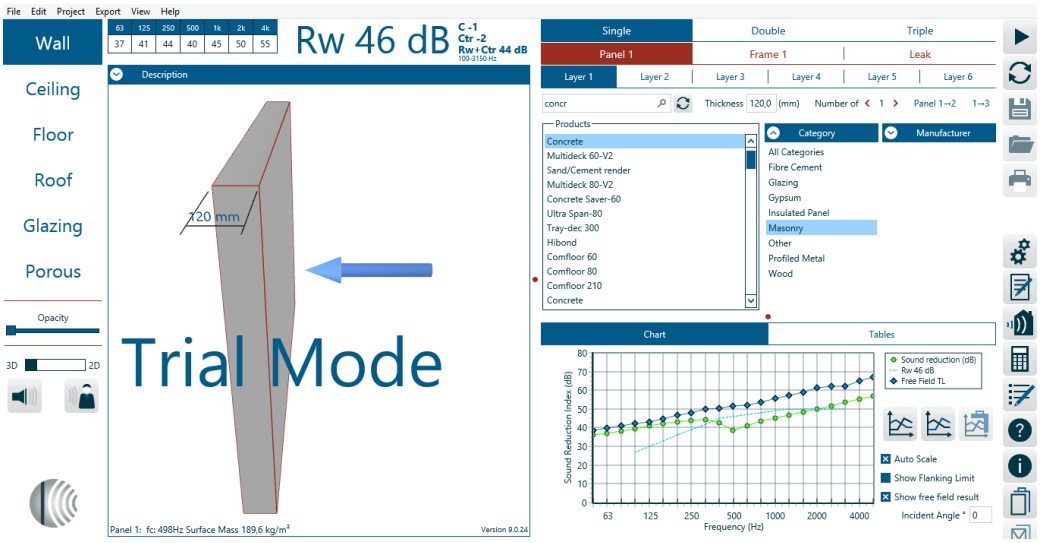
Şekil B.30: LC-2B1R8-3.5 (120 mm)



Şekil B.31: LC-2R1B8-3.5 (60 mm)



Şekil B.32: LC-2R1B8-3.5 (90 mm)

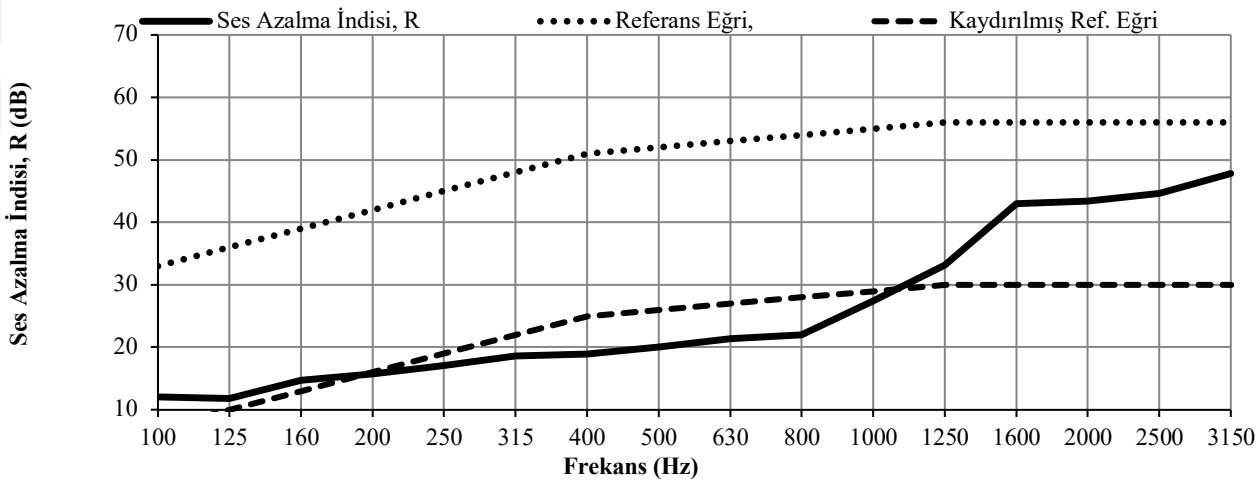


Şekil B.33: LC-2R1B8-3.5 (120 mm)

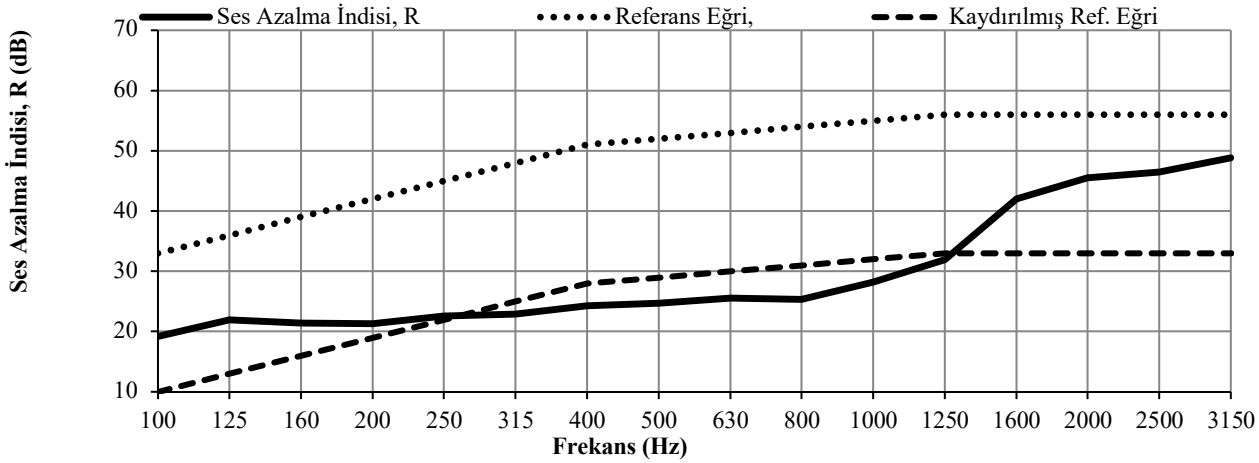
EK B.2: R değerinin TS EN ISO 717-1:2013'e uygun olarak tek sayılı değere (R_w) dönüştürülmesi.

Çizelge B.1: PC-S2-2.75 (60 mm)

	R	Ref R	Difference	Shifted Ref	Revised Diff	Shift value:	Ref C	Diff	10^(Diff/10)	Ref C_{tr}	Diff	10^(Diff/10)
100	12.08	33	20.9	7	-5.1	26	-29	-41.1	7.7983E-05	-20	-32.1	0.000619441
125	11.80	36	24.2	10	-1.8		-26	-37.8	0.00016596	-20	-31.8	0.000660693
160	14.75	39	24.3	13	-1.8		-23	-37.8	0.00016788	-18	-32.8	0.000530884
200	15.76	42	26.2	16	0.2		-21	-36.8	0.00021086	-16	-31.8	0.000666807
250	17.04	45	28.0	19	2.0		-19	-36.0	0.00024889	-15	-32.0	0.000625173
315	18.65	48	29.4	22	3.4		-17	-35.7	0.00027227	-14	-32.7	0.00054325
400	18.89	51	32.1	25	6.1		-15	-33.9	0.00040832	-13	-31.9	0.000647143
500	20.09	52	31.9	**26**	5.9		-13	-33.1	0.00049091	-12	-32.1	0.000618016
630	21.33	53	31.7	27	5.7		-12	-33.3	0.00046452	-11	-32.3	0.00058479
800	22.04	54	32.0	28	6.0		-11	-33.0	0.00049659	-9	-31.0	0.000787046
1000	27.37	55	27.6	29	1.6		-10	-37.4	0.00018323	-8	-35.4	0.000290402
1250	33.20	56	22.8	30	-3.2		-9	-42.2	6.0256E-05	-9	-42.2	6.0256E-05
1600	43.01	56	13.0	30	-13.0		-9	-52.0	6.2951E-06	-10	-53.0	5.00035E-06
2000	43.36	56	12.6	30	-13.4		-9	-52.4	5.8076E-06	-11	-54.4	3.66438E-06
2500	44.62	56	11.4	30	-14.6		-9	-53.6	4.3451E-06	-13	-57.6	1.72982E-06
3150	47.82	56	8.2	30	-17.8		-9	-56.8	2.0797E-06	-15	-62.8	5.22396E-07
			376.2		30.8	<32 dB		**C=**	**-1**		**C_{tr}=**	**-4**



Şekil B.34: PC-S2-2.75 (60 mm)



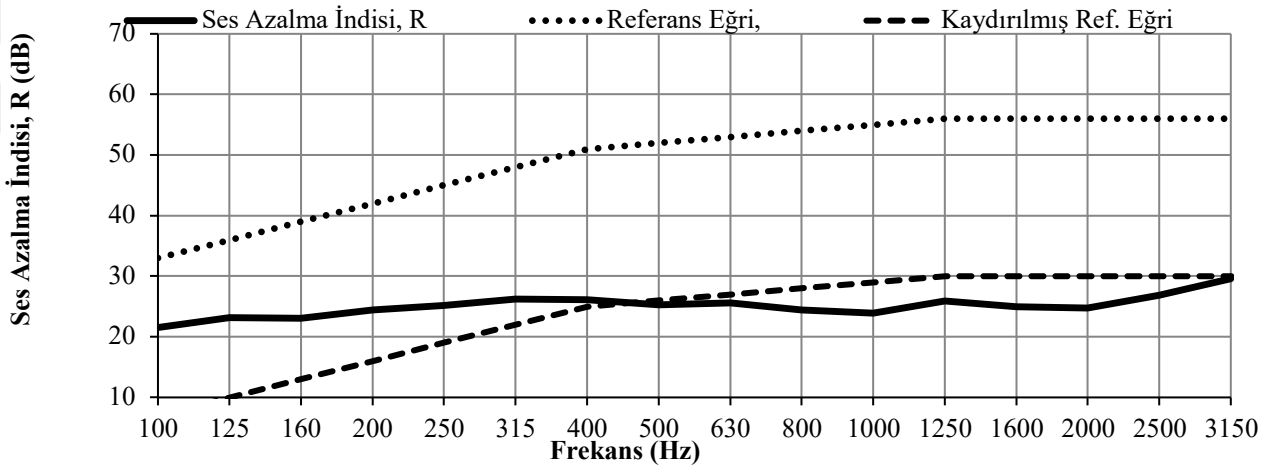
Şekil B.35: PC-S2-2.75 (90 mm)

Çizelge B.2: PC-S2-2.75 (90 mm)

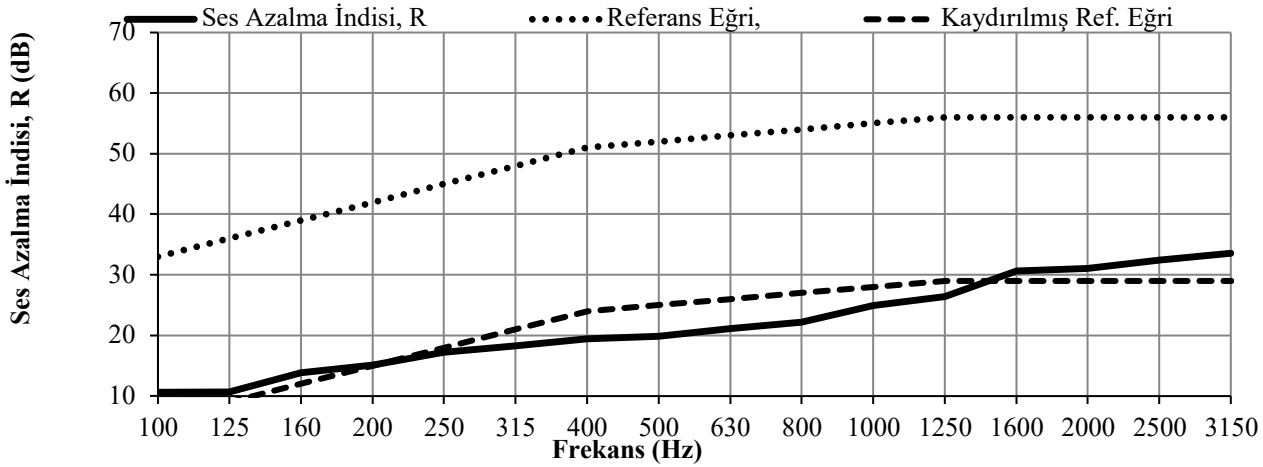
	R	Ref R	Difference	Shifted Ref	Revised Diff	Shift value:	Ref C	Diff	10^(Diff/10)	Ref C_{tr}	Diff	10^(Diff/10)
100	19.20	33	13.8	10	-9.2	23	-29	-48.2	1.5136E-05	-20	-39.2	0.000120226
125	21.99	36	14.0	13	-9.0		-26	-48.0	1.5885E-05	-20	-42.0	6.32412E-05
160	21.43	39	17.6	16	-5.4		-23	-44.4	3.6058E-05	-18	-39.4	0.000114025
200	21.36	42	20.6	19	-2.4		-21	-42.4	5.8076E-05	-16	-37.4	0.000183654
250	22.63	45	22.4	22	-0.6		-19	-41.6	6.8707E-05	-15	-37.6	0.000172584
315	22.89	48	25.1	25	2.1		-17	-39.9	0.00010257	-14	-36.9	0.000204644
400	24.27	51	26.7	28	3.7		-15	-39.3	0.0001183	-13	-37.3	0.000187499
500	24.71	52	27.3	**29**	4.3		-13	-37.7	0.00016943	-12	-36.7	0.000213304
630	25.55	53	27.5	30	4.5		-12	-37.6	0.00017579	-11	-36.6	0.000221309
800	25.30	54	28.7	31	5.7		-11	-36.3	0.00023442	-9	-34.3	0.000371535
1000	28.18	55	26.8	32	3.8		-10	-38.2	0.00015205	-8	-36.2	0.000240991
1250	31.94	56	24.1	33	1.1		-9	-40.9	8.0538E-05	-9	-40.9	8.05378E-05
1600	42.00	56	14.0	33	-9.0		-9	-51.0	7.9433E-06	-10	-52.0	6.30957E-06
2000	45.55	56	10.5	33	-12.6		-9	-54.6	3.5075E-06	-11	-56.6	2.21309E-06
2500	46.44	56	9.6	33	-13.4		-9	-55.4	2.8576E-06	-13	-59.4	1.13763E-06
3150	48.84	56	7.2	33	-15.8		-9	-57.8	1.6444E-06	-15	-63.8	4.13048E-07
			315.7		25.2	<32 dB		**C=**	**0**		**C_{tr}=**	**-2**

Çizelge B.3: PC-S2-2.75 (120 mm)

	R	Ref R	Difference	Shifted Ref	Revised Diff	Shift value:	Ref C	Diff	10^(Diff/10)	Ref C_{tr}	Diff	10^(Diff/10)
100	21.53	33	11.5	7	-14.5	26	-29	-50.5	8.8512E-06	-20	-41.5	7.03072E-05
125	23.13	36	12.9	10	-13.1		-26	-49.1	1.2218E-05	-20	-43.1	4.86407E-05
160	23.10	39	15.9	13	-10.1		-23	-46.1	2.4547E-05	-18	-41.1	7.76247E-05
200	24.43	42	17.6	16	-8.4		-21	-45.4	2.8642E-05	-16	-40.4	9.05733E-05
250	25.20	45	19.8	19	-6.2		-19	-44.2	3.8019E-05	-15	-40.2	9.54993E-05
315	26.18	48	21.8	22	-4.2		-17	-43.2	4.8084E-05	-14	-40.2	9.59401E-05
400	26.17	51	24.8	25	-1.2		-15	-41.2	7.6384E-05	-13	-39.2	0.00012106
500	25.24	52	26.8	**26**	0.8		-13	-38.2	0.00014997	-12	-37.2	0.000188799
630	25.61	53	27.4	27	1.4		-12	-37.6	0.00017338	-11	-36.6	0.000218273
800	24.38	54	29.6	28	3.6		-11	-35.4	0.00028973	-9	-33.4	0.000459198
1000	23.86	55	31.1	29	5.1		-10	-33.9	0.00041115	-8	-31.9	0.000651628
1250	25.88	56	30.1	30	4.1		-9	-34.9	0.00032509	-9	-34.9	0.000325087
1600	24.92	56	31.1	30	5.1		-9	-33.9	0.00040551	-10	-34.9	0.000322107
2000	24.73	56	31.3	30	5.3		-9	-33.7	0.00042364	-11	-35.7	0.000267301
2500	26.87	56	29.1	30	3.1		-9	-35.9	0.00025882	-13	-39.9	0.000103039
3150	29.59	56	26.4	30	0.4		-9	-38.6	0.00013836	-15	-44.6	3.47536E-05
			387.2		28.9	<32 dB		**C=**	**0**		**C_{tr}=**	**-1**



Şekil B.36: PC-S2-2.75 (120 mm)



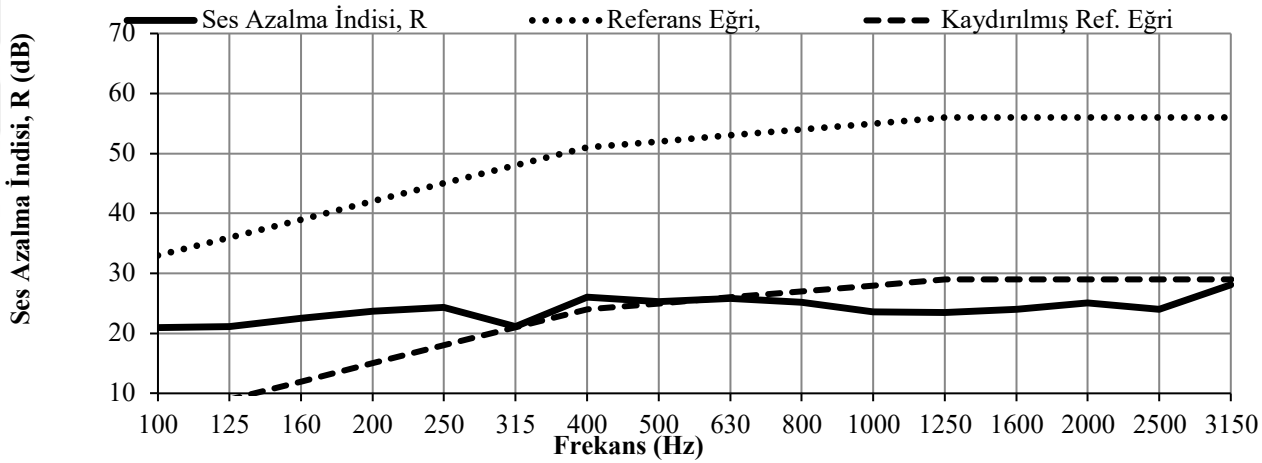
Şekil B.37: LC-S2-2.75 (60 mm)

Çizelge B.4: LC-S2-2.75 (60 mm)

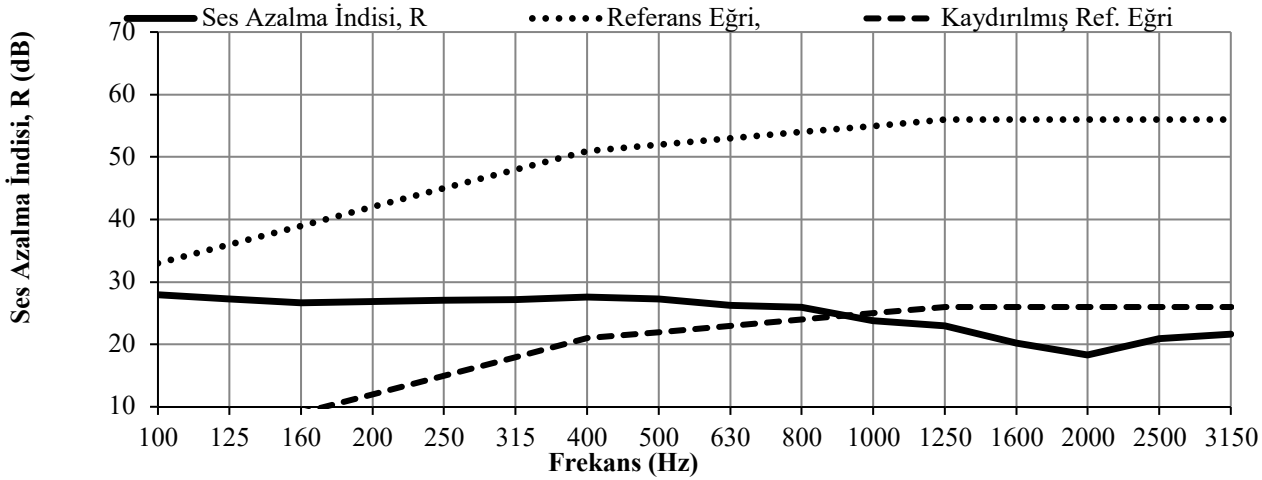
	R	Ref R	Difference	Shifted Ref	Revised Diff	Shift value:	Ref C	Diff	10^(Diff/10)	Ref C_{tr}	Diff	10^(Diff/10)
100	10.62	33	22.4	6	-4.6	27	-29	-39.6	0.00010914	-20	-30.6	0.000866962
125	10.68	36	25.3	9	-1.7		-26	-36.7	0.00021478	-20	-30.7	0.000855067
160	13.82	39	25.2	12	-1.8		-23	-36.8	0.00020797	-18	-31.8	0.000657658
200	15.15	42	26.9	15	-0.2		-21	-36.2	0.00024266	-16	-31.2	0.000767361
250	17.19	45	27.8	18	0.8		-19	-36.2	0.00024044	-15	-32.2	0.000603949
315	18.25	48	29.8	21	2.8		-17	-35.3	0.00029854	-14	-32.3	0.000595662
400	19.49	51	31.5	24	4.5		-15	-34.5	0.00035563	-13	-32.5	0.000563638
500	19.85	52	32.2	**25**	5.2		-13	-32.9	0.0005188	-12	-31.9	0.000653131
630	21.16	53	31.8	26	4.8		-12	-33.2	0.00048306	-11	-32.2	0.000608135
800	22.15	54	31.9	27	4.9		-11	-33.2	0.00048417	-9	-31.2	0.000767361
1000	24.96	55	30.0	28	3.0		-10	-35.0	0.00031915	-8	-33.0	0.000505825
1250	26.40	56	29.6	29	2.6		-9	-35.4	0.0002884	-9	-35.4	0.000288403
1600	30.69	56	25.3	29	-1.7		-9	-39.7	0.0001074	-10	-40.7	8.531E-05
2000	31.05	56	25.0	29	-2.1		-9	-40.1	9.8855E-05	-11	-42.1	6.23735E-05
2500	32.47	56	23.5	29	-3.5		-9	-41.5	7.1285E-05	-13	-45.5	2.83792E-05
3150	33.57	56	22.4	29	-4.6		-9	-42.6	5.5335E-05	-15	-48.6	1.38995E-05
			440.5		28.6	<32 dB		**C=**	**-1**		**C_{tr}=**	**-4**

Çizelge B.5: LC-S2-2.75 (90 mm)

	R	Ref R	Difference	Shifted Ref	Revised Diff	Shift value:	Ref C	Diff	10^(Diff/10)	Ref C_{tr}	Diff	10^(Diff/10)
100	21	33	12.0	6	-15.0	27	-29	-50.0	1.0093E-05	-20	-41.0	8.01678E-05
125	21.1	36	14.9	9	-12.1		-26	-47.1	1.9498E-05	-20	-41.1	7.76247E-05
160	22.5	39	16.5	12	-10.5		-23	-45.5	2.8054E-05	-18	-40.5	8.87156E-05
200	23.7	42	18.3	15	-8.7		-21	-44.7	3.3963E-05	-16	-39.7	0.000107399
250	24.4	45	20.6	18	-6.4		-19	-43.4	4.592E-05	-15	-39.4	0.000115345
315	21.2	48	26.8	21	-0.2		-17	-38.2	0.00015205	-14	-35.2	0.000303389
400	26.1	51	25.0	24	-2.1		-15	-41.1	7.8524E-05	-13	-39.1	0.000124451
500	25.3	52	26.7	**25**	-0.3		-13	-38.3	0.00014894	-12	-37.3	0.000187499
630	25.8	53	27.2	26	0.2		-12	-37.8	0.00016634	-11	-36.8	0.000209411
800	25.2	54	28.8	27	1.8		-11	-36.2	0.00024044	-9	-34.2	0.000381066
1000	23.6	55	31.4	28	4.4		-10	-33.6	0.00043853	-8	-31.6	0.000695024
1250	23.5	56	32.5	29	5.5		-9	-32.5	0.00056105	-9	-32.5	0.000561048
1600	24	56	32.0	29	5.0		-9	-33.0	0.00050119	-10	-34.0	0.000398107
2000	25.1	56	30.9	29	3.9		-9	-34.1	0.00039264	-11	-36.1	0.000247742
2500	24	56	32.0	29	5.0		-9	-33.0	0.00049659	-13	-37.0	0.000197697
3150	28.1	56	27.9	29	0.9		-9	-37.1	0.00019498	-15	-43.1	4.89779E-05
			403.6		26.7	<32 dB		**C=**	**0**		**C_{tr}=**	**-1**



Şekil B.38: LC-S2-2.75 (90 mm)



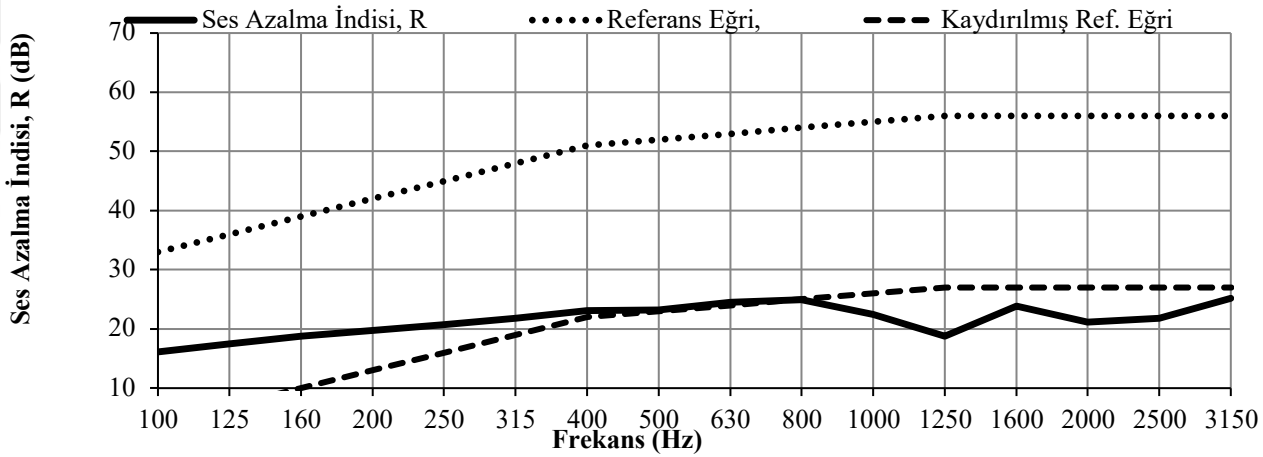
Şekil B.39: LC-S2-2.75 (120 mm)

Çizelge B.6: LC-S2-2.75 (120 mm)

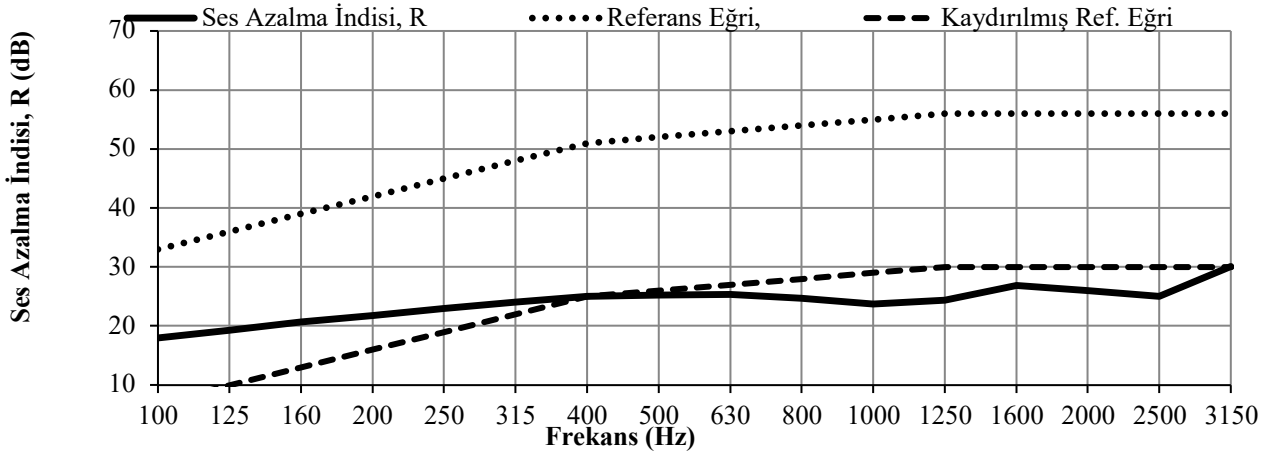
	R	Ref R	Difference	Shifted Ref	Revised Diff	Shift value:	Ref C	Diff	10^(Diff/10)	Ref C_{tr}	Diff	10^(Diff/10)
100	28	33	5.0	3	-25.0	30	-29	-57.0	2.0137E-06	-20	-48.0	1.59956E-05
125	27.3	36	8.7	6	-21.3		-26	-53.3	4.7206E-06	-20	-47.3	1.87932E-05
160	26.7	39	12.3	9	-17.7		-23	-49.7	1.0666E-05	-18	-44.7	3.37287E-05
200	26.9	42	15.1	12	-14.9		-21	-47.9	1.6293E-05	-16	-42.9	5.15229E-05
250	27.1	45	17.9	15	-12.1		-19	-46.1	2.4717E-05	-15	-42.1	6.20869E-05
315	27.2	48	20.8	18	-9.2		-17	-44.2	3.8371E-05	-14	-41.2	7.65597E-05
400	27.6	51	23.5	21	-6.6		-15	-42.6	5.559E-05	-13	-40.6	8.81049E-05
500	27.2	52	24.8	**22**	-5.2		-13	-40.2	9.4624E-05	-12	-39.2	0.000119124
630	26.3	53	26.7	23	-3.3		-12	-38.3	0.00014757	-11	-37.3	0.00018578
800	25.9	54	28.1	24	-1.9		-11	-36.9	0.0002037	-9	-34.9	0.000322849
1000	23.8	55	31.2	25	1.2		-10	-33.8	0.00041495	-8	-31.8	0.000657658
1250	23	56	33.0	26	3.0		-9	-32.0	0.00062661	-9	-32.0	0.000626614
1600	20.2	56	35.8	26	5.8		-9	-29.2	0.00120781	-10	-30.2	0.000959401
2000	18.3	56	37.7	26	7.7		-9	-27.3	0.00185353	-11	-29.3	0.001169499
2500	21	56	35.0	26	5.0		-9	-30.0	0.00100925	-13	-34.0	0.000401791
3150	21.7	56	34.4	26	4.4		-9	-30.7	0.00086099	-15	-36.7	0.000216272
			390.0		27.0	<32 dB		**C=**	**0**		**C_{tr}=**	**1**

Çizelge B.7: LC-S8-2.75 (60 mm)

	R	Ref R	Difference	Shifted Ref	Revised Diff	Shift value:	Ref C	Diff	10^(Diff/10)	Ref C_{tr}	Diff	10^(Diff/10)
100	16.1	33	16.9	4	-12.1	29	-29	-45.1	3.0761E-05	-20	-36.1	0.000244343
125	17.5	36	18.5	7	-10.5		-26	-43.5	4.4463E-05	-20	-37.5	0.000177011
160	18.8	39	20.3	10	-8.8		-23	-41.8	6.6834E-05	-18	-36.8	0.000211349
200	19.8	42	22.2	13	-6.8		-21	-40.8	8.356E-05	-16	-35.8	0.000264241
250	20.7	45	24.3	16	-4.7		-19	-39.7	0.00010691	-15	-35.7	0.000268534
315	21.8	48	26.2	19	-2.8		-17	-38.8	0.00013122	-14	-35.8	0.000261818
400	23.1	51	27.9	22	-1.1		-15	-38.1	0.00015524	-13	-36.1	0.000246037
500	23.2	52	28.8	**23**	-0.2		-13	-36.2	0.00024155	-12	-35.2	0.000304089
630	24.5	53	28.5	24	-0.5		-12	-36.5	0.00022284	-11	-35.5	0.000280543
800	25	54	29.0	25	0.0		-11	-36.0	0.00025177	-9	-34.0	0.000399025
1000	22.4	55	32.6	26	3.6		-10	-32.4	0.00057016	-8	-30.4	0.000903649
1250	18.8	56	37.2	27	8.2		-9	-27.8	0.00165959	-9	-27.8	0.001659587
1600	23.9	56	32.2	27	3.2		-9	-32.9	0.0005188	-10	-33.9	0.000412098
2000	21.2	56	34.9	27	5.9		-9	-30.2	0.00096605	-11	-32.2	0.000609537
2500	21.8	56	34.2	27	5.2		-9	-30.8	0.00082414	-13	-34.8	0.000328095
3150	25.2	56	30.8	27	1.8		-9	-34.2	0.00038194	-15	-40.2	9.59401E-05
			444.3		27.8	<32 dB		**C=**	**-1**		**C_{tr}=**	**-1**



Şekil B.40: LC-S8-2.75 (60 mm)



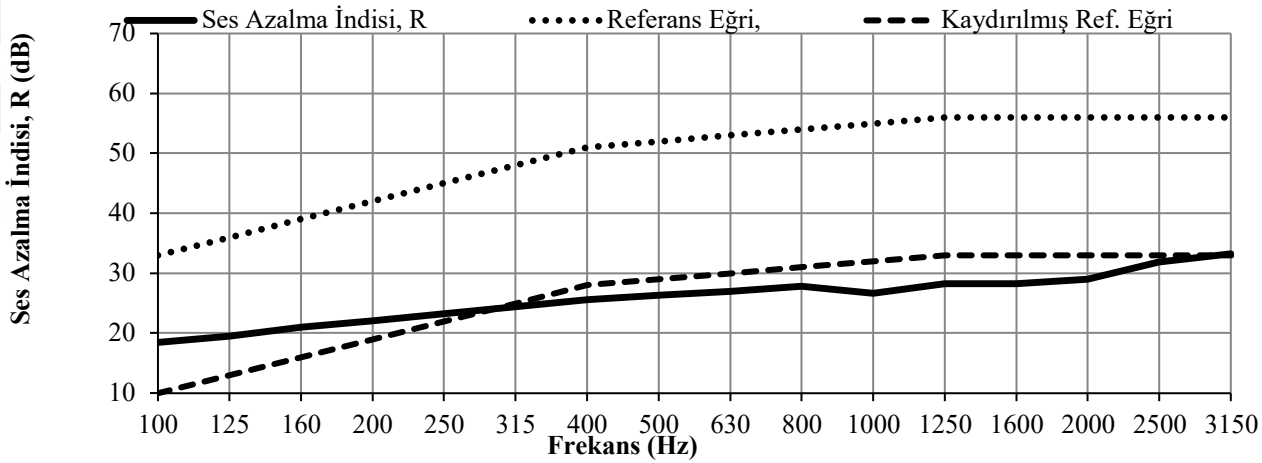
Şekil B.41: LC-S8-2.75 (90 mm)

Çizelge B.8: LC-S8-2.75 (90 mm)

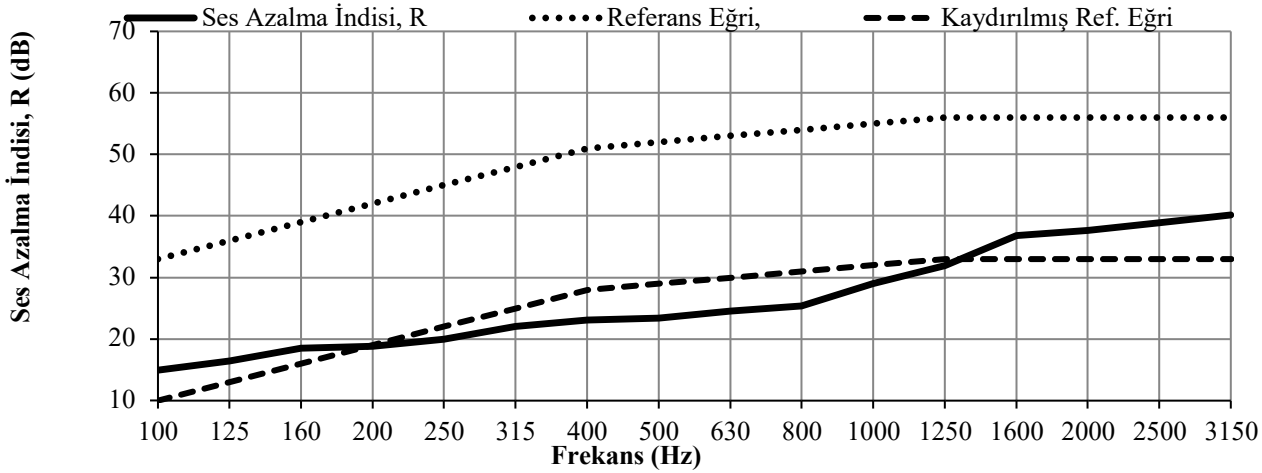
	R	Ref R	Difference	Shifted Ref	Revised Diff	Shift value:	Ref C	Diff	10^(Diff/10)	Ref C_{tr}	Diff	10^(Diff/10)
100	18	33	15.0	7	-11.0	26	-29	-47.0	1.9999E-05	-20	-38.0	0.000158855
125	19.3	36	16.7	10	-9.3		-26	-45.3	2.9242E-05	-20	-39.3	0.000116413
160	20.7	39	18.3	13	-7.7		-23	-43.7	4.2658E-05	-18	-38.7	0.000134896
200	21.8	42	20.2	16	-5.8		-21	-42.8	5.236E-05	-16	-37.8	0.000165577
250	22.9	45	22.1	19	-3.9		-19	-41.9	6.3973E-05	-15	-37.9	0.000160694
315	24.1	48	24.0	22	-2.1		-17	-41.1	7.8524E-05	-14	-38.1	0.000156675
400	25.1	51	25.9	25	-0.1		-15	-40.1	9.8628E-05	-13	-38.1	0.000156315
500	25.2	52	26.8	**26**	0.8		-13	-38.2	0.00015066	-12	-37.2	0.000189671
630	25.4	53	27.6	27	1.6		-12	-37.4	0.00018281	-11	-36.4	0.000230144
800	24.7	54	29.3	28	3.3		-11	-35.7	0.00026853	-9	-33.7	0.000425598
1000	23.7	55	31.3	29	5.3		-10	-33.7	0.0004256	-8	-31.7	0.000674528
1250	24.4	56	31.6	30	5.6		-9	-33.4	0.00045604	-9	-33.4	0.000456037
1600	26.9	56	29.1	30	3.1		-9	-35.9	0.00025704	-10	-36.9	0.000204174
2000	26	56	30.0	30	4.0		-9	-35.0	0.00031391	-11	-37.0	0.000198061
2500	25	56	31.0	30	5.0		-9	-34.0	0.00039628	-13	-38.0	0.000157761
3150	30.1	56	25.9	30	-0.1		-9	-39.1	0.00012303	-15	-45.1	3.0903E-05
			404.6		28.6	<32 dB		**C=**	**-1**		**C_{tr}=**	**-2**

Çizelge B.9: LC-S8-2.75 (120 mm)

	R	Ref R	Difference	Shifted Ref	Revised Diff	Shift value:	Ref C	Diff	10^(Diff/10)	Ref C_{tr}	Diff	10^(Diff/10)
100	18.5	33	14.5	10	-8.5	23	-29	-47.5	1.7906E-05	-20	-38.5	0.000142233
125	19.6	36	16.4	13	-6.6		-26	-45.6	2.7797E-05	-20	-39.6	0.000110662
160	21	39	18.0	16	-5.0		-23	-44.0	4.0179E-05	-18	-39.0	0.000127057
200	22.1	42	19.9	19	-3.1		-21	-43.1	4.8865E-05	-16	-38.1	0.000154525
250	23.2	45	21.8	22	-1.2		-19	-42.2	5.9704E-05	-15	-38.2	0.000149968
315	24.4	48	23.6	25	0.6		-17	-41.4	7.2778E-05	-14	-38.4	0.000145211
400	25.6	51	25.4	28	2.4		-15	-40.6	8.6696E-05	-13	-38.6	0.000137404
500	26.4	52	25.6	**29**	2.6		-13	-39.4	0.00011561	-12	-38.4	0.000145546
630	27	53	26.0	30	3.0		-12	-39.0	0.0001256	-11	-38.0	0.000158125
800	27.8	54	26.2	31	3.2		-11	-38.8	0.00013092	-9	-36.8	0.000207491
1000	26.7	55	28.3	32	5.3		-10	-36.7	0.0002138	-8	-34.7	0.000338844
1250	28.3	56	27.7	33	4.7		-9	-37.3	0.00018578	-9	-37.3	0.00018578
1600	28.3	56	27.7	33	4.7		-9	-37.3	0.00018793	-10	-38.3	0.000149279
2000	29.1	56	27.0	33	4.0		-9	-38.1	0.00015668	-11	-40.1	9.88553E-05
2500	31.9	56	24.1	33	1.1		-9	-40.9	8.2035E-05	-13	-44.9	3.26588E-05
3150	33.3	56	22.8	33	-0.3		-9	-42.3	5.9566E-05	-15	-48.3	1.49624E-05
			375.0		31.6	<32 dB		**C=**	**-1**		**C_{tr}=**	**-3**



Şekil B.42: LC-S8-2.75 (120 mm)



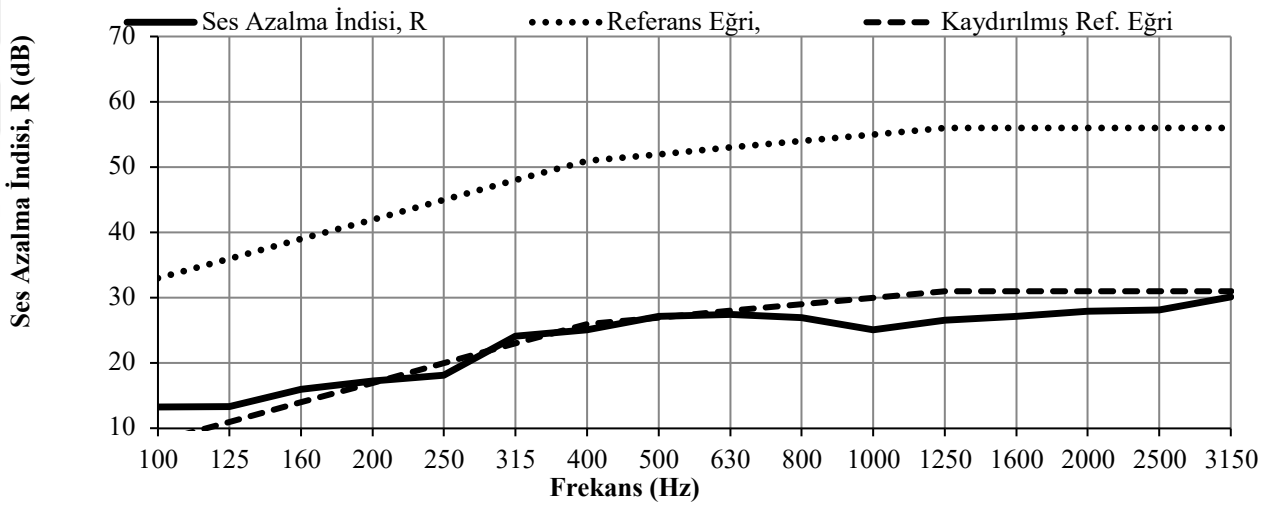
Şekil B 43: LC-B8-2.75 (60 mm)

Çizelge B.10: LC-B8-2.75 (60 mm)

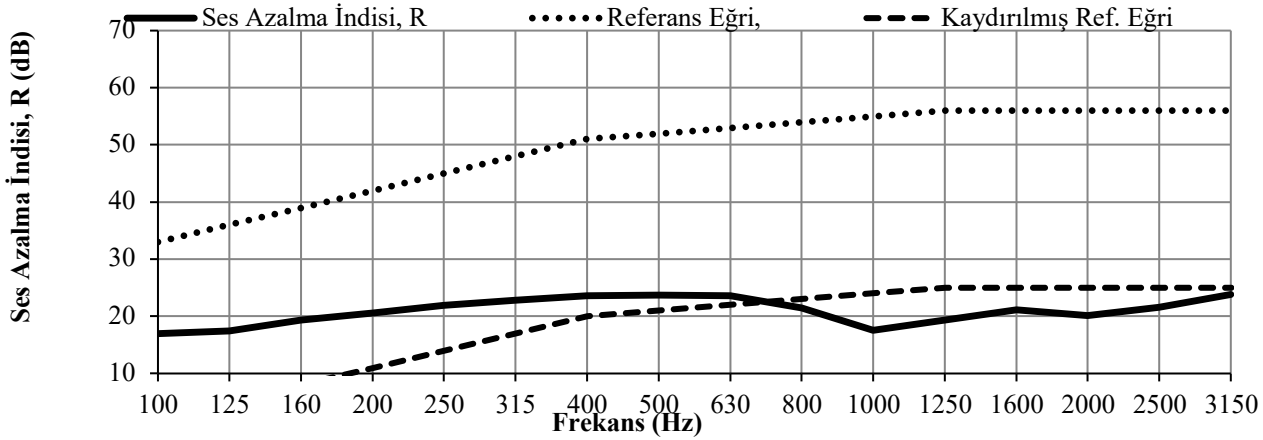
	R	Ref R	Difference	Shifted Ref	Revised Diff	Shift value:	Ref C	Diff	10^(Diff/10)	Ref C_{tr}	Diff	10^(Diff/10)
100	14.9	33	18.1	10	-4.9	23	-29	-43.9	4.0365E-05	-20	-34.9	0.000320627
125	16.4	36	19.6	13	-3.4		-26	-42.4	5.7148E-05	-20	-36.4	0.00022751
160	18.5	39	20.5	16	-2.5		-23	-41.5	7.0795E-05	-18	-36.5	0.000223872
200	18.8	42	23.2	19	0.2		-21	-39.8	0.00010447	-16	-34.8	0.00033037
250	20	45	25.0	22	2.0		-19	-39.0	0.00012589	-15	-35.0	0.000316228
315	22	48	26.0	25	3.0		-17	-39.0	0.0001256	-14	-36.0	0.000250611
400	23.1	51	27.9	28	4.9		-15	-38.1	0.00015382	-13	-36.1	0.000243781
500	23.4	52	28.6	**29**	5.6		-13	-36.4	0.00023067	-12	-35.4	0.000290402
630	24.5	53	28.5	30	5.5		-12	-36.5	0.00022387	-11	-35.5	0.000281838
800	25.4	54	28.6	31	5.6		-11	-36.4	0.00022909	-9	-34.4	0.000363078
1000	29	55	26.0	32	3.0		-10	-39.0	0.00012677	-8	-37.0	0.000200909
1250	31.9	56	24.1	33	1.1		-9	-40.9	8.147E-05	-9	-40.9	8.14704E-05
1600	36.8	56	19.2	33	-3.8		-9	-45.8	2.6242E-05	-10	-46.8	2.08449E-05
2000	37.6	56	18.4	33	-4.6		-9	-46.6	2.1727E-05	-11	-48.6	1.37088E-05
2500	38.9	56	17.1	33	-5.9		-9	-47.9	1.6218E-05	-13	-51.9	6.45654E-06
3150	40.2	56	15.8	33	-7.2		-9	-49.2	1.2106E-05	-15	-55.2	3.04089E-06
			366.5		30.9	<32 dB		**C=**	**-1**		**C_{tr}=**	**-4**

Çizelge B.11: LC-B8-2.75 (90 mm)

	R	Ref R	Difference	Shifted Ref	Revised Diff	Shift value:	Ref C	Diff	10^(Diff/10)	Ref C_{tr}	Diff	10^(Diff/10)
100	13.3	33	19.7	8	-5.3	25	-29	-42.3	5.9293E-05	-20	-33.3	0.000470977
125	13.4	36	22.7	11	-2.4		-26	-39.4	0.00011614	-20	-33.4	0.000462381
160	15.9	39	23.1	14	-1.9		-23	-38.9	0.00012764	-18	-33.9	0.000403645
200	17.3	42	24.8	17	-0.3		-21	-38.3	0.00014962	-16	-33.3	0.000473151
250	18.2	45	26.8	20	1.8		-19	-37.2	0.00019187	-15	-33.2	0.000481948
315	24.1	48	23.9	23	-1.1		-17	-41.1	7.7268E-05	-14	-38.1	0.00015417
400	25.1	51	25.9	26	0.9		-15	-40.1	9.8175E-05	-13	-38.1	0.000155597
500	27.2	52	24.9	**27**	-0.1		-13	-40.2	9.6605E-05	-12	-39.2	0.000121619
630	27.5	53	25.5	28	0.5		-12	-39.5	0.00011272	-11	-38.5	0.000141906
800	27	54	27.0	29	2.0		-11	-38.0	0.00015996	-9	-36.0	0.000253513
1000	25.1	55	29.9	30	4.9		-10	-35.1	0.0003062	-8	-33.1	0.000485289
1250	26.6	56	29.4	31	4.4		-9	-35.6	0.00027797	-9	-35.6	0.000277971
1600	27.2	56	28.8	31	3.8		-9	-36.2	0.0002421	-10	-37.2	0.000192309
2000	28	56	28.1	31	3.1		-9	-37.0	0.00020184	-11	-39.0	0.00012735
2500	28.1	56	27.9	31	2.9		-9	-37.1	0.00019543	-13	-41.1	7.78037E-05
3150	30.1	56	25.9	31	0.9		-9	-39.1	0.00012218	-15	-45.1	3.06902E-05
			414.2		25.3	<32 dB		**C=**	**-1**		**C_{tr}=**	**-3**



Şekil B.44: LC-B8-2.75 (90 mm)



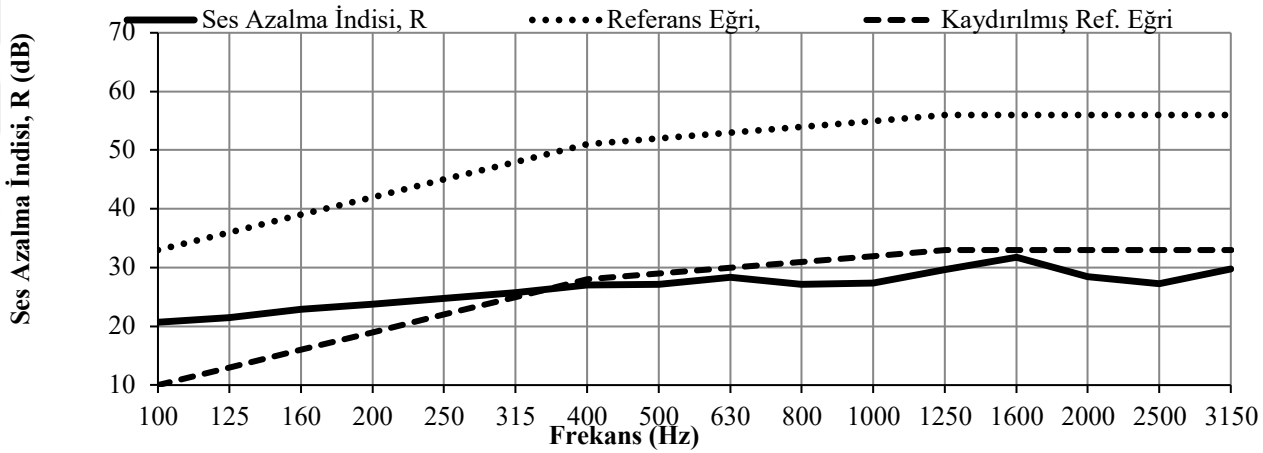
Şekil B.45: LC-B8-2.75 (120 mm)

Çizelge B.12: LC-B8-2.75 (120 mm)

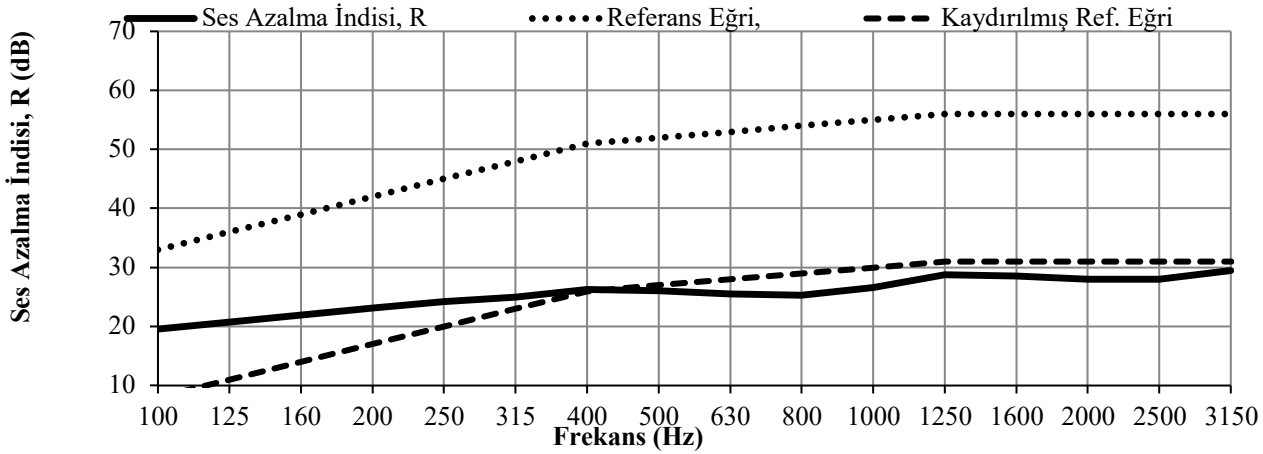
	R	Ref R	Difference	Shifted Ref	Revised Diff	Shift value:	Ref C	Diff	10^(Diff/10)	Ref C_{tr}	Diff	10^(Diff/10)
100	17	33	16.0	2	-15.0	31	-29	-46.0	2.5293E-05	-20	-37.0	0.000200909
125	17.4	36	18.6	5	-12.4		-26	-43.4	4.5604E-05	-20	-37.4	0.000181552
160	19.3	39	19.7	8	-11.3		-23	-42.3	5.8614E-05	-18	-37.3	0.000185353
200	20.6	42	21.4	11	-9.6		-21	-41.6	6.9663E-05	-16	-36.6	0.000220293
250	21.9	45	23.1	14	-7.9		-19	-40.9	8.1658E-05	-15	-36.9	0.000205116
315	22.8	48	25.2	17	-5.8		-17	-39.8	0.00010375	-14	-36.8	0.000207014
400	23.6	51	27.4	20	-3.6		-15	-38.6	0.00013677	-13	-36.6	0.00021677
500	23.7	52	28.3	**21**	-2.7		-13	-36.7	0.00021281	-12	-35.7	0.000267917
630	23.7	53	29.3	22	-1.7		-12	-35.7	0.00027164	-11	-34.7	0.000341979
800	21.5	54	32.5	23	1.5		-11	-32.5	0.00056234	-9	-30.5	0.000891251
1000	17.6	55	37.4	24	6.4		-10	-27.6	0.00174181	-8	-25.6	0.002760578
1250	19.4	56	36.6	25	5.6		-9	-28.4	0.00145881	-9	-28.4	0.001458814
1600	21.2	56	34.8	25	3.8		-9	-30.2	0.00096161	-10	-31.2	0.000763836
2000	20.1	56	35.9	25	4.9		-9	-29.1	0.00121899	-11	-31.1	0.00076913
2500	21.6	56	34.4	25	3.4		-9	-30.6	0.00087096	-13	-34.6	0.000346737
3150	23.8	56	32.2	25	1.2		-9	-32.8	0.00052119	-15	-38.8	0.000130918
			452.8		26.8	<32 dB		**C=**	**0**		**C_{tr}=**	**-1**

Çizelge B.13: LC-R8-2.75 (60 mm)

	R	Ref R	Difference	Shifted Ref	Revised Diff	Shift value:	Ref C	Diff	10^(Diff/10)	Ref C_{tr}	Diff	10^(Diff/10)
100	20.7	33	12.3	10	-10.7	23	-29	-49.7	1.0715E-05	-20	-40.7	8.51138E-05
125	21.5	36	14.5	13	-8.5		-26	-47.5	1.762E-05	-20	-41.5	7.01455E-05
160	22.9	39	16.1	16	-6.9		-23	-45.9	2.5586E-05	-18	-40.9	8.09096E-05
200	23.8	42	18.3	19	-4.8		-21	-44.8	3.3497E-05	-16	-39.8	0.000105925
250	24.7	45	20.3	22	-2.7		-19	-43.7	4.2364E-05	-15	-39.7	0.000106414
315	25.8	48	22.2	25	-0.8		-17	-42.8	5.2602E-05	-14	-39.8	0.000104954
400	27.1	51	24.0	28	0.9		-15	-42.1	6.2373E-05	-13	-40.1	9.88553E-05
500	27.2	52	24.8	**29**	1.8		-13	-40.2	9.594E-05	-12	-39.2	0.000120781
630	28.4	53	24.6	30	1.6		-12	-40.4	9.0991E-05	-11	-39.4	0.000114551
800	27.2	54	26.8	31	3.8		-11	-38.2	0.00015276	-9	-36.2	0.000242103
1000	27.4	55	27.7	32	4.7		-10	-37.4	0.00018408	-8	-35.4	0.000291743
1250	29.7	56	26.4	33	3.4		-9	-38.7	0.00013646	-9	-38.7	0.000136458
1600	31.8	56	24.2	33	1.2		-9	-40.8	8.3753E-05	-10	-41.8	6.65273E-05
2000	28.5	56	27.5	33	4.5		-9	-37.5	0.00017947	-11	-39.5	0.00011324
2500	27.3	56	28.7	33	5.7		-9	-36.3	0.00023388	-13	-40.3	9.31108E-05
3150	29.8	56	26.3	33	3.3		-9	-38.8	0.00013335	-15	-44.8	3.34965E-05
			364.5		30.9	<32 dB		**C=**	**-1**		**C_{tr}=**	**-2**



Şekil B.46: LC-R8-2.75 (60 mm)



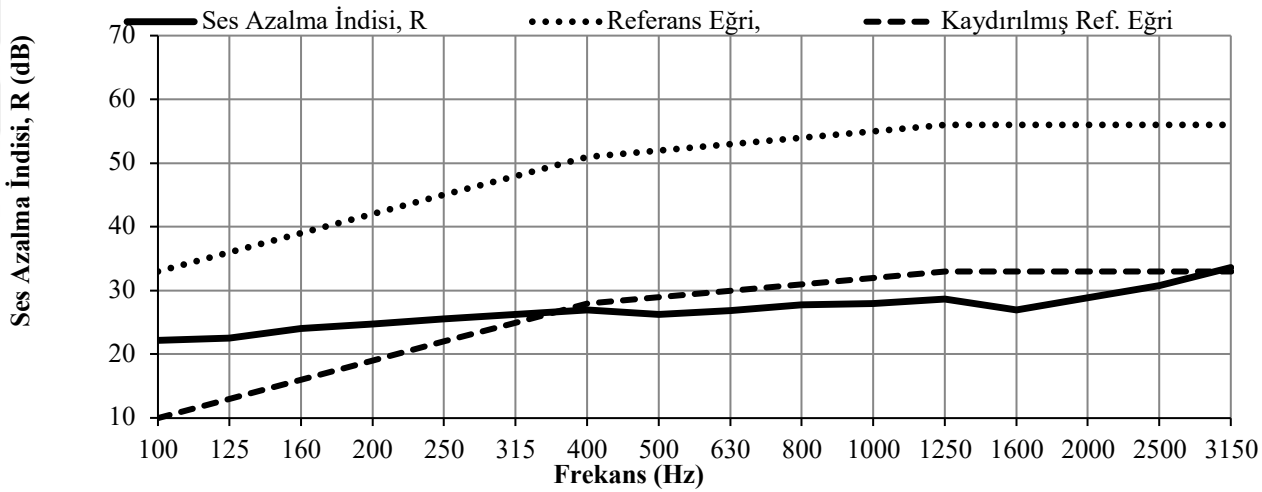
Şekil B.47: LC-R8-2.75 (90 mm)

Çizelge B.14: LC-R8-2.75 (90 mm)

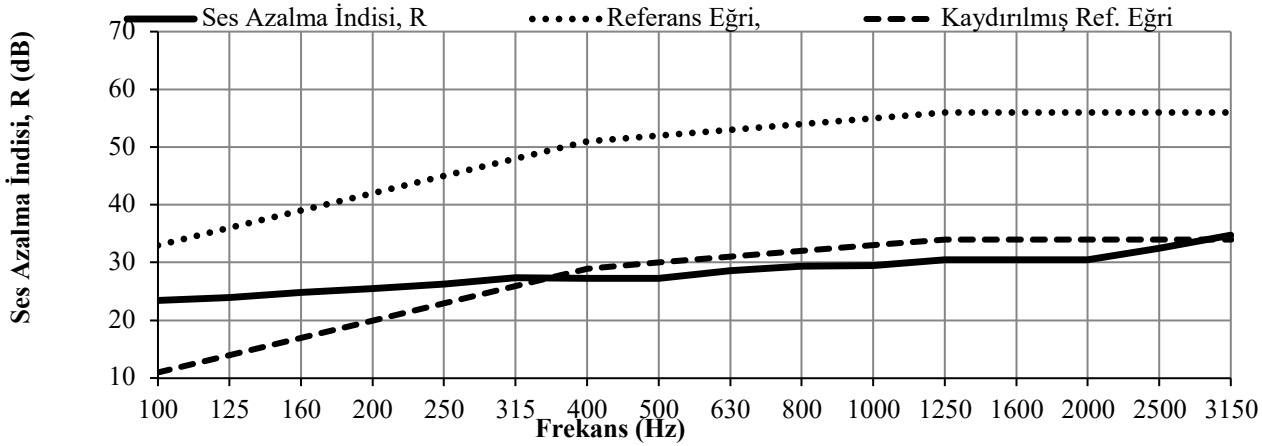
	R	Ref R	Difference	Shifted Ref	Revised Diff	Shift value:	Ref C	Diff	10^(Diff/10)	Ref C_{tr}	Diff	10^(Diff/10)
100	19.6	33	13.4	8	-11.6	25	-29	-48.6	1.3932E-05	-20	-39.6	0.000110662
125	20.7	36	15.3	11	-9.7		-26	-46.7	2.1429E-05	-20	-40.7	8.531E-05
160	22	39	17.0	14	-8.0		-23	-45.0	3.1915E-05	-18	-40.0	0.000100925
200	23.1	42	18.9	17	-6.1		-21	-44.1	3.8905E-05	-16	-39.1	0.000123027
250	24.2	45	20.8	20	-4.2		-19	-43.2	4.8306E-05	-15	-39.2	0.000121339
315	24.9	48	23.1	23	-1.9		-17	-41.9	6.4121E-05	-14	-38.9	0.000127938
400	26.3	51	24.8	26	-0.3		-15	-41.3	7.4989E-05	-13	-39.3	0.00011885
500	26	52	26.0	**27**	1.0		-13	-39.0	0.0001256	-12	-38.0	0.000158125
630	25.5	53	27.5	28	2.5		-12	-37.5	0.0001762	-11	-36.5	0.00022182
800	25.3	54	28.7	29	3.7		-11	-36.3	0.00023496	-9	-34.3	0.000372392
1000	26.6	55	28.4	30	3.4		-10	-36.6	0.00021677	-8	-34.6	0.000343558
1250	28.7	56	27.3	31	2.3		-9	-37.7	0.00016827	-9	-37.7	0.000168267
1600	28.5	56	27.5	31	2.5		-9	-37.5	0.0001762	-10	-38.5	0.000139959
2000	28	56	28.0	31	3.0		-9	-37.0	0.00020045	-11	-39.0	0.000126474
2500	28	56	28.0	31	3.0		-9	-37.0	0.00019861	-13	-41.0	7.90679E-05
3150	29.5	56	26.5	31	1.5		-9	-38.5	0.00014191	-15	-44.5	3.56451E-05
			381.1		22.8	<32 dB		**C=**	**0**		**C_{tr}=**	**-1**

Çizelge B.15: LC-R8-2.75 (120 mm)

	R	Ref R	Difference	Shifted Ref	Revised Diff	Shift value:	Ref C	Diff	10^(Diff/10)	Ref C_{tr}	Diff	10^(Diff/10)
100	22.2	33	10.8	10	-12.2	23	-29	-51.2	7.6033E-06	-20	-42.2	6.03949E-05
125	22.6	36	13.5	13	-9.6		-26	-48.6	1.3964E-05	-20	-42.6	5.55904E-05
160	24.1	39	14.9	16	-8.1		-23	-47.1	1.9634E-05	-18	-42.1	6.20869E-05
200	24.8	42	17.2	19	-5.8		-21	-45.8	2.6485E-05	-16	-40.8	8.37529E-05
250	25.6	45	19.4	22	-3.6		-19	-44.6	3.4674E-05	-15	-40.6	8.70964E-05
315	26.3	48	21.7	25	-1.3		-17	-43.3	4.7098E-05	-14	-40.3	9.39723E-05
400	27	51	24.0	28	1.0		-15	-42.0	6.3387E-05	-13	-40.0	0.000100462
500	26.3	52	25.7	**29**	2.7		-13	-39.3	0.00011803	-12	-38.3	0.000148594
630	26.8	53	26.2	30	3.2		-12	-38.8	0.00013092	-11	-37.8	0.000164816
800	27.7	54	26.3	31	3.3		-11	-38.7	0.00013397	-9	-36.7	0.000212324
1000	28	55	27.1	32	4.1		-10	-38.0	0.00016032	-8	-36.0	0.000254097
1250	28.6	56	27.4	33	4.4		-9	-37.6	0.00017219	-9	-37.6	0.000172187
1600	26.9	56	29.1	33	6.1		-9	-35.9	0.00025468	-10	-36.9	0.000202302
2000	28.9	56	27.1	33	4.1		-9	-37.9	0.00016368	-11	-39.9	0.000103276
2500	30.8	56	25.2	33	2.2		-9	-39.8	0.00010471	-13	-43.8	4.16869E-05
3150	33.6	56	22.4	33	-0.6		-9	-42.6	5.4702E-05	-15	-48.6	1.37404E-05
			357.9		31.0	<32 dB		**C=**	**-1**		**C_{tr}=**	**-2**



Şekil B.48: LC-R8-2.75 (120 mm)



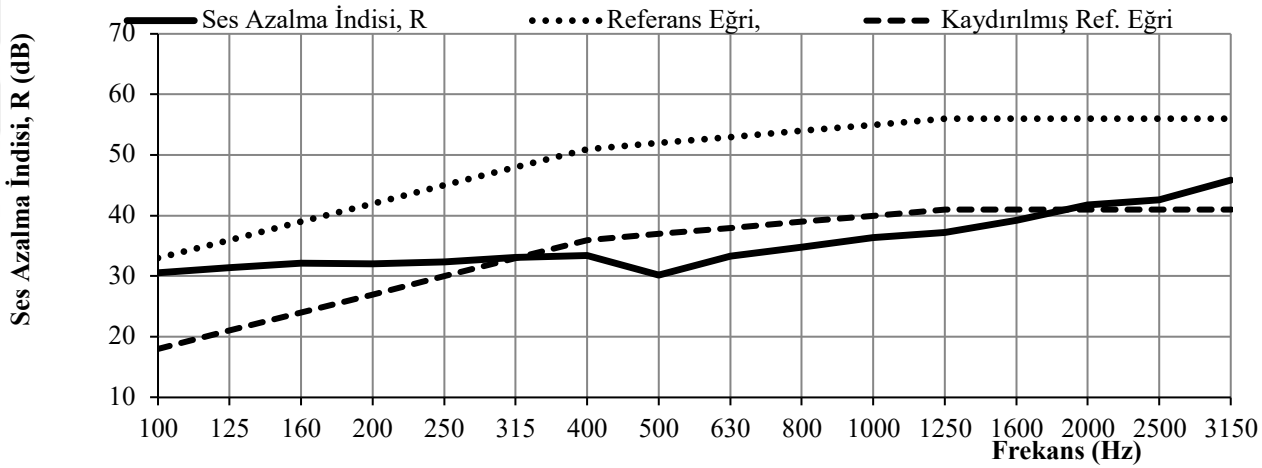
Şekil B.49: LC-2B1R8-2.75 (60 mm)

Çizelge B.16: LC-2B1R8-2.75 (60 mm)

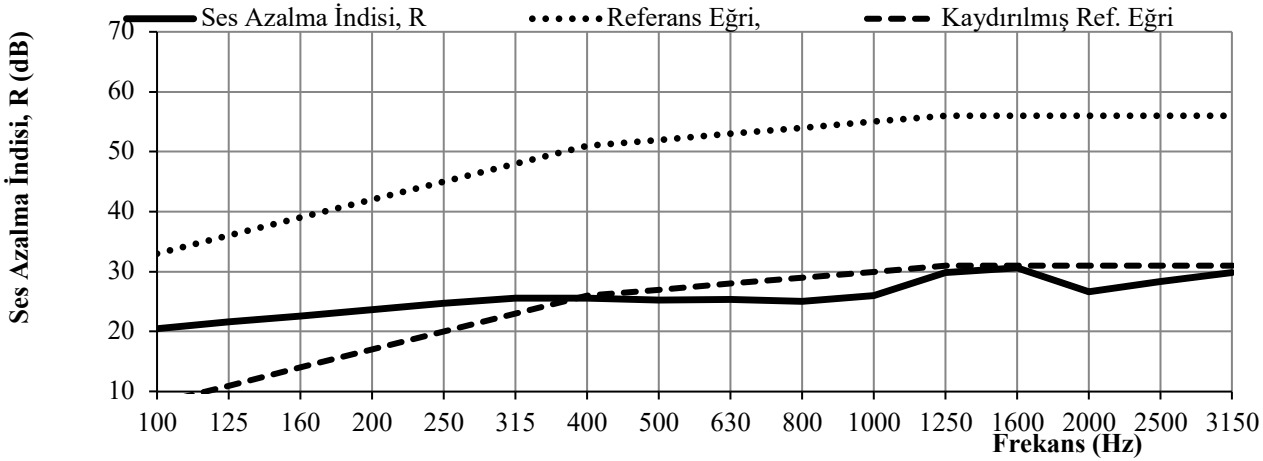
	R	Ref R	Difference	Shifted Ref	Revised Diff	Shift value:	Ref C	Diff	10^(Diff/10)	Ref C_{tr}	Diff	10^(Diff/10)
100	23.5	33	9.5	11	-12.5	22	-29	-52.5	5.6754E-06	-20	-43.5	4.50817E-05
125	24	36	12.0	14	-10.0		-26	-50.0	1.0093E-05	-20	-44.0	4.01791E-05
160	24.8	39	14.2	17	-7.8		-23	-47.8	1.6558E-05	-18	-42.8	5.236E-05
200	25.5	42	16.5	20	-5.5		-21	-46.5	2.2542E-05	-16	-41.5	7.12853E-05
250	26.3	45	18.7	23	-3.3		-19	-45.3	2.958E-05	-15	-41.3	7.43019E-05
315	27.4	48	20.6	26	-1.4		-17	-44.4	3.6224E-05	-14	-41.4	7.2277E-05
400	27.3	51	23.7	29	1.7		-15	-42.3	5.8884E-05	-13	-40.3	9.33254E-05
500	27.2	52	24.8	**30**	2.8		-13	-40.2	9.4624E-05	-12	-39.2	0.000119124
630	28.6	53	24.4	31	2.4		-12	-40.6	8.77E-05	-11	-39.6	0.000110408
800	29.4	54	24.6	32	2.6		-11	-40.4	9.1833E-05	-9	-38.4	0.000145546
1000	29.5	55	25.5	33	3.5		-10	-39.5	0.0001122	-8	-37.5	0.000177828
1250	30.6	56	25.5	34	3.5		-9	-39.6	0.00011092	-9	-39.6	0.000110917
1600	30.5	56	25.5	34	3.5		-9	-39.5	0.00011143	-10	-40.5	8.85116E-05
2000	30.6	56	25.5	34	3.5		-9	-39.6	0.00011092	-11	-41.6	6.99842E-05
2500	32.5	56	23.5	34	1.5		-9	-41.5	7.0795E-05	-13	-45.5	2.81838E-05
3150	34.8	56	21.2	34	-0.8		-9	-43.8	4.2073E-05	-15	-49.8	1.05682E-05
			335.7		24.9	<32 dB		**C=**	**0**		**C_{tr}=**	**-1**

Çizelge B.17: LC-2B1R8-2.75 (90 mm)

	R	Ref R	Difference	Shifted Ref	Revised Diff	Shift value:	Ref C	Diff	10^(Diff/10)	Ref C_{tr}	Diff	10^(Diff/10)
100	30.5	33	2.5	18	-12.5	15	-29	-59.5	1.1143E-06	-20	-50.5	8.85116E-06
125	31.5	36	4.6	21	-10.5		-26	-57.5	1.7989E-06	-20	-51.5	7.16143E-06
160	32.1	39	6.9	24	-8.1		-23	-55.1	3.062E-06	-18	-50.1	9.68278E-06
200	32	42	10.0	27	-5.0		-21	-53.0	4.9888E-06	-16	-48.0	1.57761E-05
250	32.4	45	12.6	30	-2.4		-19	-51.4	7.2778E-06	-15	-47.4	1.8281E-05
315	33.1	48	14.9	33	-0.1		-17	-50.1	9.6828E-06	-14	-47.1	1.93197E-05
400	33.4	51	17.6	36	2.6		-15	-48.4	1.4388E-05	-13	-46.4	2.28034E-05
500	30.2	52	21.8	**37**	6.8		-13	-43.2	4.8084E-05	-12	-42.2	6.05341E-05
630	33.3	53	19.7	38	4.7		-12	-45.3	2.9376E-05	-11	-44.3	3.69828E-05
800	34.8	54	19.2	39	4.2		-11	-45.8	2.6242E-05	-9	-43.8	4.15911E-05
1000	36.3	55	18.7	40	3.7		-10	-46.3	2.3335E-05	-8	-44.3	3.69828E-05
1250	37.2	56	18.8	41	3.8		-9	-46.2	2.3823E-05	-9	-46.2	2.38232E-05
1600	39.3	56	16.7	41	1.7		-9	-48.3	1.4928E-05	-10	-49.3	1.18577E-05
2000	41.7	56	14.3	41	-0.7		-9	-50.7	8.4333E-06	-11	-52.7	5.32108E-06
2500	42.6	56	13.4	41	-1.6		-9	-51.6	6.8549E-06	-13	-55.6	2.72898E-06
3150	45.9	56	10.1	41	-4.9		-9	-54.9	3.2659E-06	-15	-60.9	8.20352E-07
			221.6		27.5	<32 dB		**C=**	**-1**		**C_{tr}=**	**-2**



Şekil B.50: LC-2B1R8-2.75 (90 mm)



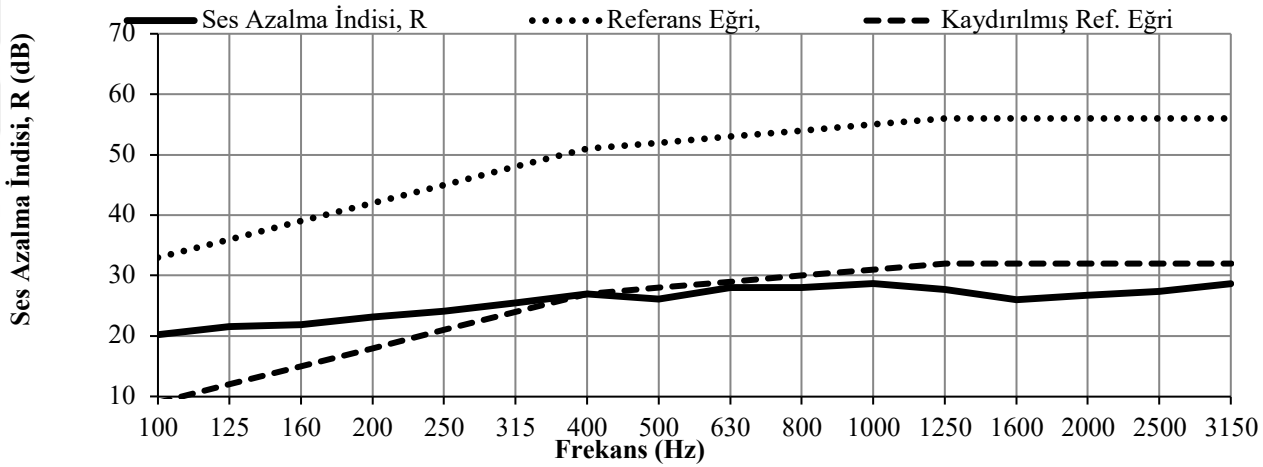
Şekil B.51: LC-2B1R8-2.75 (120 mm)

Çizelge B.18: LC-2B1R8-2.75 (120 mm)

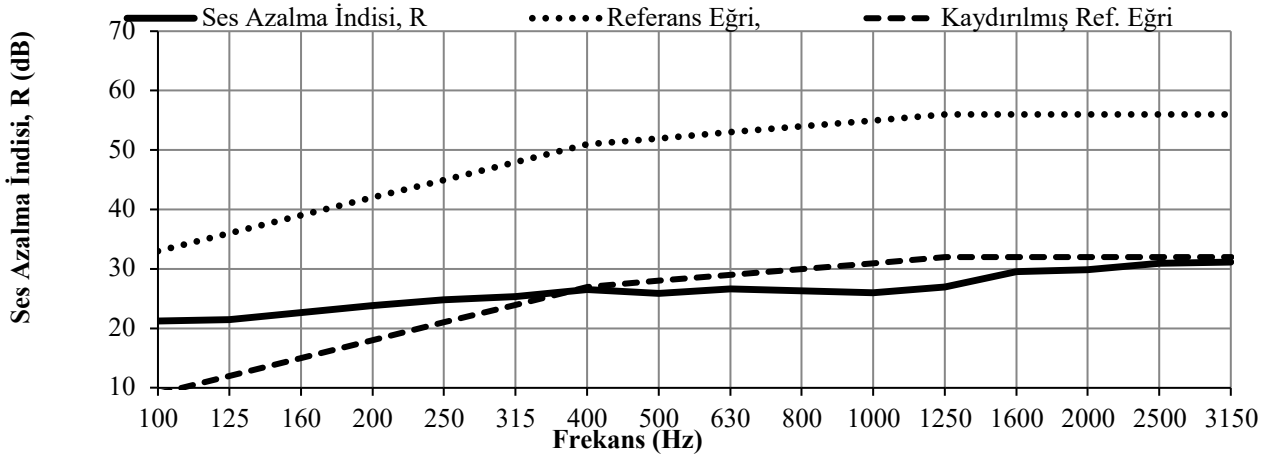
	R	Ref R	Difference	Shifted Ref	Revised Diff	Shift value:	Ref C	Diff	10^(Diff/10)	Ref C_{tr}	Diff	10^(Diff/10)
100	20.5	33	12.5	8	-12.5	25	-29	-49.5	1.1272E-05	-20	-40.5	8.95365E-05
125	21.7	36	14.3	11	-10.7		-26	-47.7	1.71E-05	-20	-41.7	6.80769E-05
160	22.6	39	16.4	14	-8.6		-23	-45.6	2.7542E-05	-18	-40.6	8.70964E-05
200	23.7	42	18.4	17	-6.7		-21	-44.7	3.4277E-05	-16	-39.7	0.000108393
250	24.7	45	20.3	20	-4.7		-19	-43.7	4.2658E-05	-15	-39.7	0.000107152
315	25.6	48	22.4	23	-2.6		-17	-42.6	5.4576E-05	-14	-39.6	0.000108893
400	25.6	51	25.4	26	0.4		-15	-40.6	8.7498E-05	-13	-38.6	0.000138676
500	25.3	52	26.7	**27**	1.7		-13	-38.3	0.00014757	-12	-37.3	0.00018578
630	25.3	53	27.7	28	2.7		-12	-37.3	0.00018535	-11	-36.3	0.000233346
800	25	54	29.0	29	4.0		-11	-36.0	0.00024946	-9	-34.0	0.000395367
1000	26	55	29.0	30	4.0		-10	-36.0	0.00025003	-8	-34.0	0.000396278
1250	29.9	56	26.2	31	1.2		-9	-38.9	0.00013032	-9	-38.9	0.000130317
1600	30.6	56	25.4	31	0.4		-9	-39.6	0.00010889	-10	-40.6	8.64968E-05
2000	26.6	56	29.4	31	4.4		-9	-35.6	0.00027416	-11	-37.6	0.000172982
2500	28.4	56	27.6	31	2.6		-9	-37.4	0.00018323	-13	-41.4	7.29458E-05
3150	29.9	56	26.2	31	1.2		-9	-38.9	0.00013032	-15	-44.9	3.27341E-05
			376.7		22.4	<32 dB		**C=**	**0**		**C_{tr}=**	**-1**

Çizelge B.19: LC-2R1B8-2.75 (60 mm)

	R	Ref R	Difference	Shifted Ref	Revised Diff	Shift value:	Ref C	Diff	10^(Diff/10)	Ref C_{tr}	Diff	10^(Diff/10)
100	20.2	33	12.8	9	-11.2	24	-29	-49.2	1.1912E-05	-20	-40.2	9.46237E-05
125	21.6	36	14.4	12	-9.6		-26	-47.6	1.7539E-05	-20	-41.6	6.98232E-05
160	21.9	39	17.1	15	-6.9		-23	-44.9	3.2359E-05	-18	-39.9	0.000102329
200	23.1	42	18.9	18	-5.1		-21	-44.1	3.8726E-05	-16	-39.1	0.000122462
250	24.2	45	20.9	21	-3.2		-19	-43.2	4.8417E-05	-15	-39.2	0.000121619
315	25.5	48	22.5	24	-1.5		-17	-42.5	5.6754E-05	-14	-39.5	0.00011324
400	27	51	24.0	27	0.0		-15	-42.0	6.3387E-05	-13	-40.0	0.000100462
500	26.1	52	25.9	**28**	1.9		-13	-39.1	0.00012246	-12	-38.1	0.00015417
630	28	53	25.0	29	1.0		-12	-40.0	0.0001	-11	-39.0	0.000125893
800	28.1	54	25.9	30	1.9		-11	-39.1	0.00012417	-9	-37.1	0.000196789
1000	28.7	55	26.3	31	2.3		-10	-38.7	0.0001349	-8	-36.7	0.000213796
1250	27.7	56	28.3	32	4.3		-9	-36.7	0.0002138	-9	-36.7	0.000213796
1600	26	56	30.0	32	6.0		-9	-35.0	0.00031769	-10	-36.0	0.000252348
2000	26.7	56	29.3	32	5.3		-9	-35.7	0.00026669	-11	-37.7	0.000168267
2500	27.4	56	28.6	32	4.6		-9	-36.4	0.00023014	-13	-40.4	9.1622E-05
3150	28.7	56	27.4	32	3.4		-9	-37.7	0.00017179	-15	-43.7	4.31519E-05
			377.3		30.7	<32 dB		**C=**	**-1**		**C_{tr}=**	**-1**



Şekil B.52: LC-2R1B8-2.75 (60 mm)



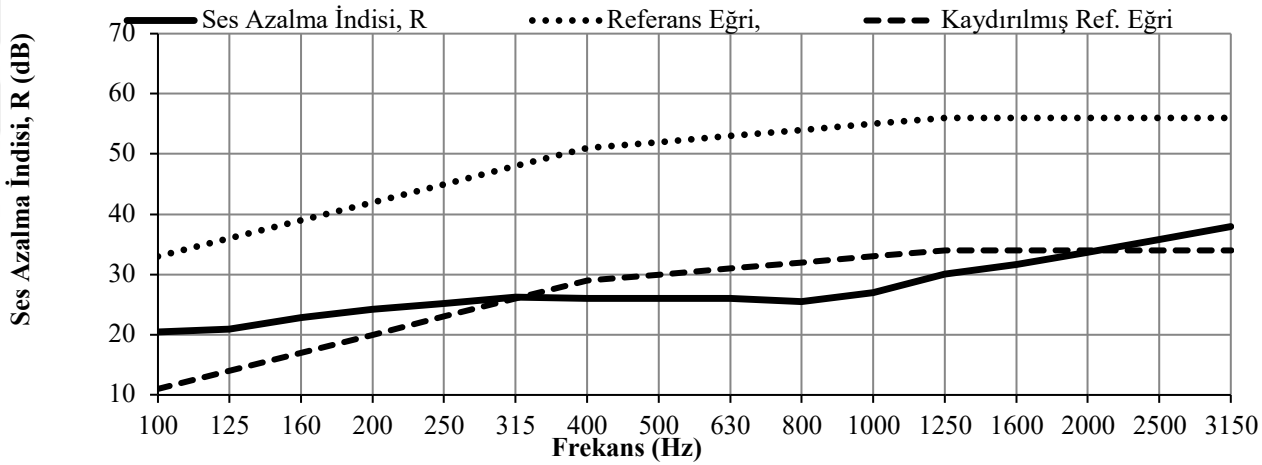
Şekil B.53: LC-2R1B8-2.75 (90 mm)

Çizelge B.20: LC-2R1B8-2.75 (90 mm)

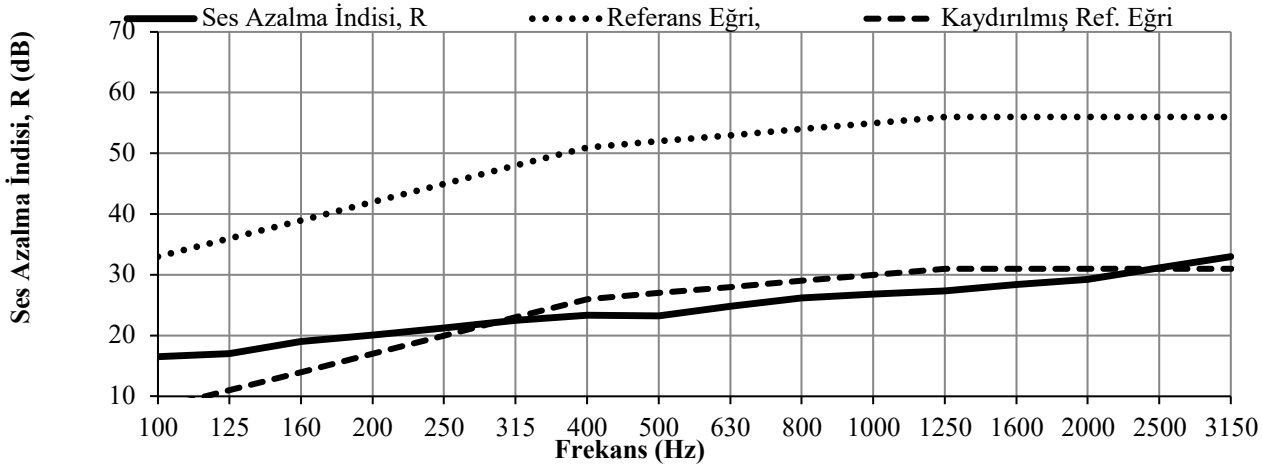
	R	Ref R	Difference	Shifted Ref	Revised Diff	Shift value:	Ref C	Diff	10^(Diff/10)	Ref C_{tr}	Diff	10^(Diff/10)
100	21.2	33	11.8	9	-12.2	24	-29	-50.2	9.4624E-06	-20	-41.2	7.51623E-05
125	21.5	36	14.5	12	-9.5		-26	-47.5	1.7783E-05	-20	-41.5	7.07946E-05
160	22.6	39	16.4	15	-7.6		-23	-45.6	2.7416E-05	-18	-40.6	8.66962E-05
200	23.8	42	18.2	18	-5.8		-21	-44.8	3.2961E-05	-16	-39.8	0.000104232
250	24.8	45	20.2	21	-3.8		-19	-43.8	4.1879E-05	-15	-39.8	0.000105196
315	25.4	48	22.7	24	-1.4		-17	-42.4	5.821E-05	-14	-39.4	0.000116145
400	26.6	51	24.4	27	0.4		-15	-41.6	6.9823E-05	-13	-39.6	0.000110662
500	25.9	52	26.1	**28**	2.1		-13	-38.9	0.00012794	-12	-37.9	0.000161065
630	26.7	53	26.3	29	2.3		-12	-38.7	0.00013583	-11	-37.7	0.000171002
800	26.3	54	27.7	30	3.7		-11	-37.3	0.00018493	-9	-35.3	0.000293089
1000	26	55	29.0	31	5.0		-10	-36.0	0.00024946	-8	-34.0	0.000395367
1250	26.9	56	29.1	32	5.1		-9	-35.9	0.00025527	-9	-35.9	0.00025527
1600	29.6	56	26.4	32	2.4		-9	-38.6	0.00013836	-10	-39.6	0.000109901
2000	29.8	56	26.2	32	2.2		-9	-38.8	0.00013092	-11	-40.8	8.26038E-05
2500	30.9	56	25.1	32	1.1		-9	-39.9	0.00010186	-13	-43.9	4.05509E-05
3150	31.2	56	24.8	32	0.8		-9	-40.2	9.6383E-05	-15	-46.2	2.42103E-05
			368.7		25.1	<32 dB		**C=**	**0**		**C_{tr}=**	**-1**

Çizelge B.21: LC-2R1B8-2.75(120 mm)

	R	Ref R	Difference	Shifted Ref	Revised Diff	Shift value:	Ref C	Diff	10^(Diff/10)	Ref C_{tr}	Diff	10^(Diff/10)
100	20.45	33	12.6	11	-9.5	22	-29	-49.5	1.135E-05	-20	-40.5	9.01571E-05
125	20.96	36	15.0	14	-7.0		-26	-47.0	2.0137E-05	-20	-41.0	8.01678E-05
160	22.81	39	16.2	17	-5.8		-23	-45.8	2.6242E-05	-18	-40.8	8.29851E-05
200	24.18	42	17.8	20	-4.2		-21	-45.2	3.0339E-05	-16	-40.2	9.59401E-05
250	25.17	45	19.8	23	-2.2		-19	-44.2	3.8282E-05	-15	-40.2	9.61612E-05
315	26.26	48	21.7	26	-0.3		-17	-43.3	4.7206E-05	-14	-40.3	9.4189E-05
400	26.07	51	24.9	29	2.9		-15	-41.1	7.8163E-05	-13	-39.1	0.00012388
500	26.01	52	26.0	**30**	4.0		-13	-39.0	0.0001256	-12	-38.0	0.000158125
630	26.05	53	27.0	31	5.0		-12	-38.1	0.00015668	-11	-37.1	0.000197242
800	25.49	54	28.5	32	6.5		-11	-36.5	0.00022439	-9	-34.5	0.000355631
1000	27.03	55	28.0	33	6.0		-10	-37.0	0.00019815	-8	-35.0	0.000314051
1250	30.09	56	25.9	34	3.9		-9	-39.1	0.00012331	-9	-39.1	0.00012331
1600	31.66	56	24.3	34	2.3		-9	-40.7	8.5901E-05	-10	-41.7	6.82339E-05
2000	33.71	56	22.3	34	0.3		-9	-42.7	5.358E-05	-11	-44.7	3.38065E-05
2500	35.81	56	20.2	34	-1.8		-9	-44.8	3.3037E-05	-13	-48.8	1.31522E-05
3150	37.96	56	18.0	34	-4.0		-9	-47.0	2.0137E-05	-15	-53.0	5.05825E-06
			348.3		30.9	<32 dB		**C=**	**-1**		**C_{tr}=**	**-3**



Şekil B.54: LC-2R1B8-2.75(120 mm)



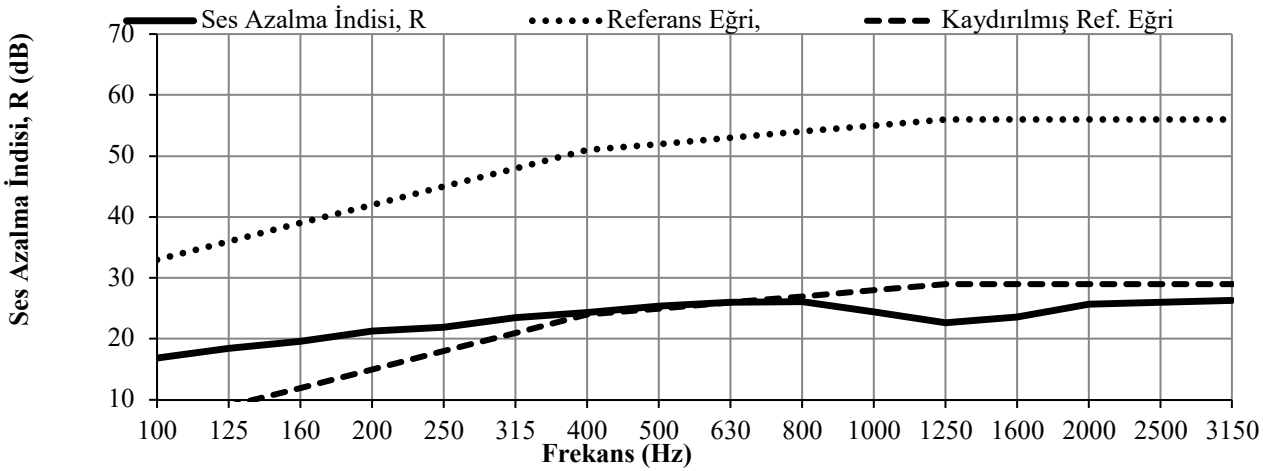
Şekil B.55: LC-2B1R8-2 (60 mm)

Çizelge B.22: LC-2B1R8-2 (60 mm)

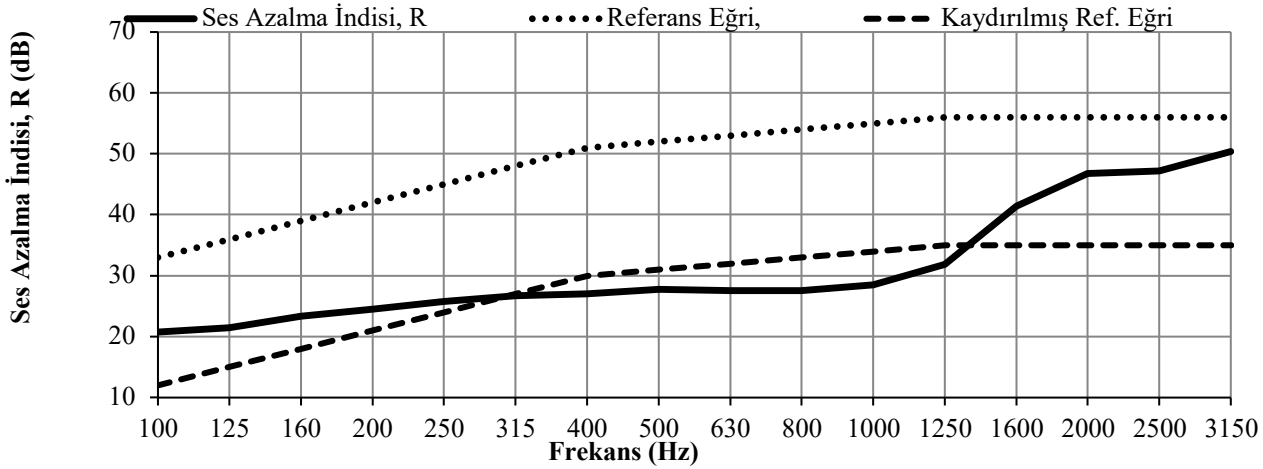
	R	Ref R	Difference	Shifted Ref	Revised Diff	Shift value:	Ref C	Diff	10^(Diff/10)	Ref C_{tr}	Diff	10^(Diff/10)
100	16.5	33	16.5	8	-8.5	25	-29	-45.5	2.8054E-05	-20	-36.5	0.000222844
125	17	36	19.0	11	-6.0		-26	-43.0	4.9659E-05	-20	-37.0	0.000197697
160	19	39	20.0	14	-5.0		-23	-42.0	6.2951E-05	-18	-37.0	0.000199067
200	20.1	42	21.9	17	-3.1		-21	-41.1	7.7983E-05	-16	-36.1	0.000246604
250	21.3	45	23.8	20	-1.3		-19	-40.3	9.4406E-05	-15	-36.3	0.000237137
315	22.5	48	25.5	23	0.5		-17	-39.5	0.00011169	-14	-36.5	0.000222844
400	23.4	51	27.6	26	2.6		-15	-38.4	0.00014454	-13	-36.4	0.000229087
500	23.3	52	28.7	**27**	3.7		-13	-36.3	0.00023659	-12	-35.3	0.000297852
630	24.9	53	28.2	28	3.2		-12	-36.9	0.00020654	-11	-35.9	0.000260016
800	26.2	54	27.8	29	2.8		-11	-37.2	0.00019143	-9	-35.2	0.000303389
1000	26.9	55	28.1	30	3.1		-10	-36.9	0.00020512	-8	-34.9	0.000325087
1250	27.4	56	28.6	31	3.6		-9	-36.4	0.00023014	-9	-36.4	0.000230144
1600	28.5	56	27.5	31	2.5		-9	-37.5	0.00017947	-10	-38.5	0.000142561
2000	29.3	56	26.8	31	1.8		-9	-38.3	0.00014962	-11	-40.3	9.44061E-05
2500	31.2	56	24.8	31	-0.2		-9	-40.2	9.5499E-05	-13	-44.2	3.80189E-05
3150	33	56	23.0	31	-2.0		-9	-42.0	6.3096E-05	-15	-48.0	1.58489E-05
			397.7		23.8	<32 dB		**C=**	**0**		**C_{tr}=**	**-2**

Çizelge B.23: LC-2B1R8-2 (90 mm)

	R	Ref R	Difference	Shifted Ref	Revised Diff	Shift value:	Ref C	Diff	10^(Diff/10)	Ref C_{tr}	Diff	10^(Diff/10)
100	16.9	33	16.1	6	-10.9	27	-29	-45.9	2.5823E-05	-20	-36.9	0.000205116
125	18.5	36	17.5	9	-9.5		-26	-44.5	3.54E-05	-20	-38.5	0.000140929
160	19.6	39	19.4	12	-7.6		-23	-42.6	5.4702E-05	-18	-37.6	0.000172982
200	21.3	42	20.7	15	-6.3		-21	-42.3	5.8345E-05	-16	-37.3	0.000184502
250	21.9	45	23.1	18	-3.9		-19	-40.9	8.0724E-05	-15	-36.9	0.000202768
315	23.5	48	24.5	21	-2.5		-17	-40.5	8.9743E-05	-14	-37.5	0.000179061
400	24.3	51	26.7	24	-0.3		-15	-39.3	0.00011695	-13	-37.3	0.000185353
500	25.4	52	26.6	**25**	-0.4		-13	-38.4	0.00014454	-12	-37.4	0.00018197
630	26	53	27.0	26	0.0		-12	-38.0	0.00015922	-11	-37.0	0.000200447
800	26.2	54	27.8	27	0.8		-11	-37.2	0.00019231	-9	-35.2	0.000304789
1000	24.5	55	30.6	28	3.6		-10	-34.5	0.00035892	-8	-32.5	0.000568853
1250	22.7	56	33.3	29	6.3		-9	-31.7	0.0006792	-9	-31.7	0.000679204
1600	23.6	56	32.4	29	5.4		-9	-32.6	0.00055208	-10	-33.6	0.000438531
2000	25.7	56	30.3	29	3.3		-9	-34.7	0.00033806	-11	-36.7	0.000213304
2500	26	56	30.0	29	3.0		-9	-35.0	0.00031696	-13	-39.0	0.000126183
3150	26.3	56	29.7	29	2.7		-9	-35.3	0.00029309	-15	-41.3	7.36207E-05
			415.7		25.1	<32 dB		**C=**	**0**		**C_{tr}=**	**-1**



Şekil B.56: LC-2B1R8-2 (90 mm)



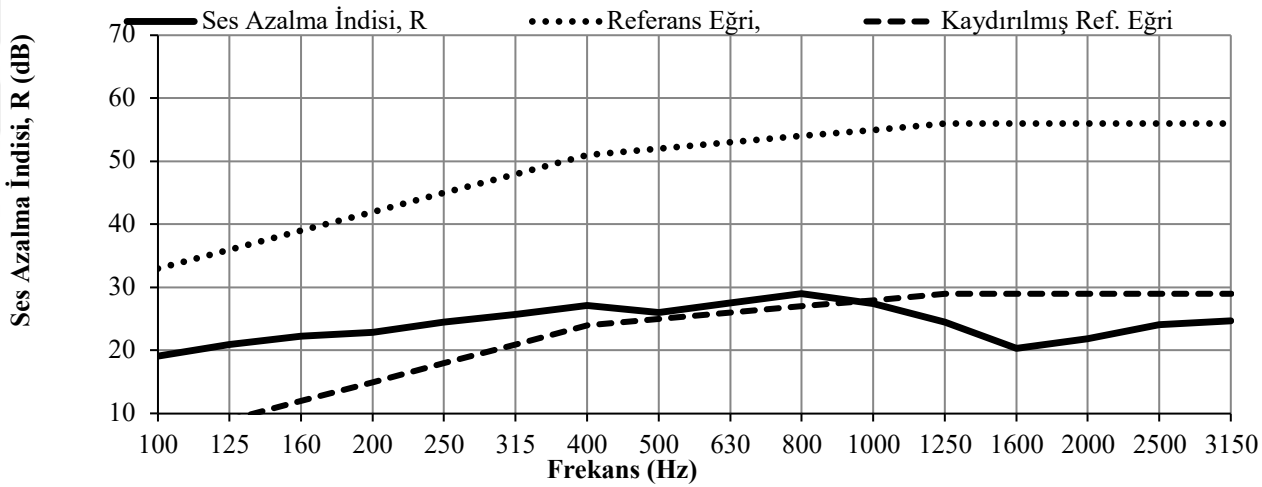
Şekil B.57: LC-2B1R8-2 (120 mm)

Çizelge B.24: LC-2B1R8-2 (120 mm)

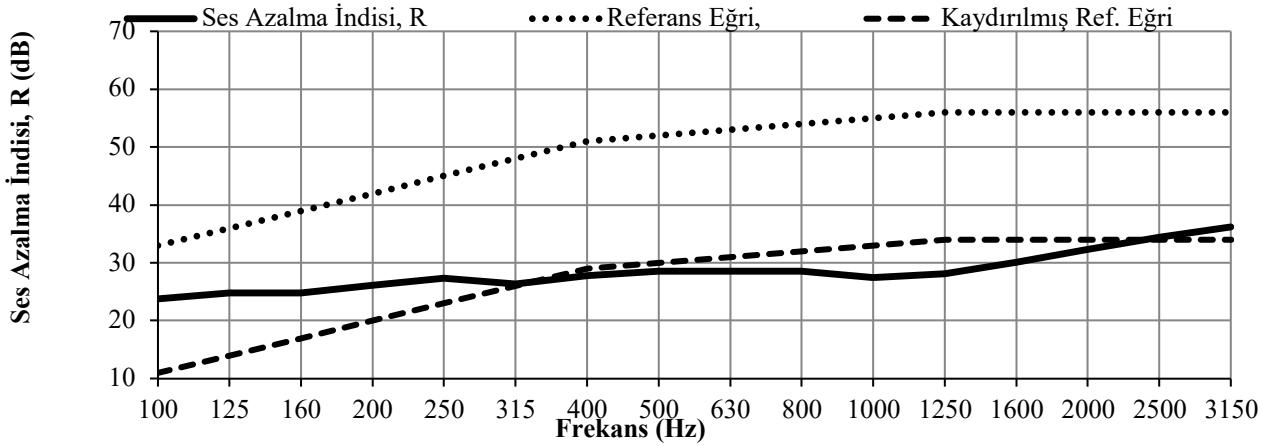
	R	Ref R	Difference	Shifted Ref	Revised Diff	Shift value:	Ref C	Diff	10^(Diff/10)	Ref C_{tr}	Diff	10^(Diff/10)
100	20.7	33	12.3	12	-8.7	21	-29	-49.7	1.0617E-05	-20	-40.7	8.43335E-05
125	21.5	36	14.5	15	-6.5		-26	-47.5	1.7865E-05	-20	-41.5	7.11214E-05
160	23.4	39	15.6	18	-5.4		-23	-46.4	2.3014E-05	-18	-41.4	7.2778E-05
200	24.5	42	17.5	21	-3.5		-21	-45.5	2.7925E-05	-16	-40.5	8.8308E-05
250	25.7	45	19.3	24	-1.7		-19	-44.7	3.3574E-05	-15	-40.7	8.43335E-05
315	26.7	48	21.3	27	0.3		-17	-43.7	4.2462E-05	-14	-40.7	8.47227E-05
400	27	51	24.0	30	3.0		-15	-42.0	6.3533E-05	-13	-40.0	0.000100693
500	27.7	52	24.3	**31**	3.3		-13	-40.7	8.4333E-05	-12	-39.7	0.00010617
630	27.5	53	25.5	32	4.5		-12	-39.5	0.00011143	-11	-38.5	0.000140281
800	27.5	54	26.5	33	5.5		-11	-38.5	0.0001406	-9	-36.5	0.000222844
1000	28.5	55	26.5	34	5.5		-10	-38.5	0.00014158	-8	-36.5	0.000224388
1250	31.8	56	24.2	35	3.2		-9	-40.8	8.2604E-05	-9	-40.8	8.26038E-05
1600	41.4	56	14.6	35	-6.4		-9	-50.4	9.1833E-06	-10	-51.4	7.29458E-06
2000	46.8	56	9.2	35	-11.8		-9	-55.8	2.6363E-06	-11	-57.8	1.66341E-06
2500	47.2	56	8.8	35	-12.2		-9	-56.2	2.3878E-06	-13	-60.2	9.50605E-07
3150	50.4	56	5.6	35	-15.4		-9	-59.4	1.1508E-06	-15	-65.4	2.89068E-07
			289.6		25.2	<32 dB		**C=**	**0**		**C_{tr}=**	**-2**

Çizelge B.25: LC-2B1R8-3.5 (60 mm)

	R	Ref R	Difference	Shifted Ref	Revised Diff	Shift value:	Ref C	Diff	10^(Diff/10)	Ref C_{tr}	Diff	10^(Diff/10)
100	19.1	33	13.9	6	-13.1	27	-29	-48.1	1.5453E-05	-20	-39.1	0.000122744
125	21	36	15.0	9	-12.0		-26	-47.0	1.9999E-05	-20	-41.0	7.96159E-05
160	22.3	39	16.7	12	-10.3		-23	-45.3	2.9785E-05	-18	-40.3	9.4189E-05
200	22.9	42	19.1	15	-7.9		-21	-43.9	4.0926E-05	-16	-38.9	0.00012942
250	24.5	45	20.5	18	-6.5		-19	-43.5	4.4259E-05	-15	-39.5	0.000111173
315	25.7	48	22.3	21	-4.7		-17	-42.7	5.3211E-05	-14	-39.7	0.00010617
400	27.1	51	23.9	24	-3.1		-15	-42.1	6.1518E-05	-13	-40.1	9.7499E-05
500	26	52	26.0	**25**	-1.0		-13	-39.0	0.00012618	-12	-38.0	0.000158855
630	27.5	53	25.5	26	-1.5		-12	-39.5	0.00011194	-11	-38.5	0.000140929
800	29	54	25.0	27	-2.0		-11	-40.0	9.9541E-05	-9	-38.0	0.000157761
1000	27.4	55	27.6	28	0.6		-10	-37.4	0.0001803	-8	-35.4	0.000285759
1250	24.5	56	31.5	29	4.5		-9	-33.5	0.00044771	-9	-33.5	0.000447713
1600	20.4	56	35.6	29	8.6		-9	-29.4	0.00115345	-10	-30.4	0.00091622
2000	21.8	56	34.2	29	7.2		-9	-30.8	0.00082414	-11	-32.8	0.000519996
2500	24.1	56	31.9	29	4.9		-9	-33.1	0.00048753	-13	-37.1	0.000194089
3150	24.7	56	31.3	29	4.3		-9	-33.7	0.0004256	-15	-39.7	0.000106905
			399.9		30.0	<32 dB		**C=**	**-1**		**C_{tr}=**	**-1**



Şekil B.58: LC-2B1R8-3.5 (60 mm)



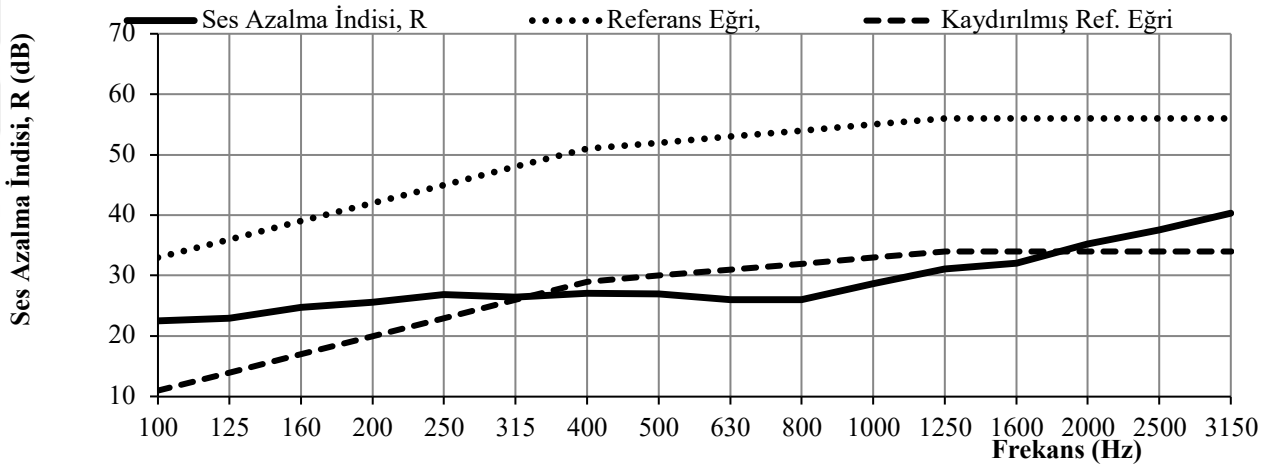
Şekil B.59: LC-2B1R8-3.50 (90 mm)

Çizelge B.26: LC-2B1R8-3.50 (90 mm)

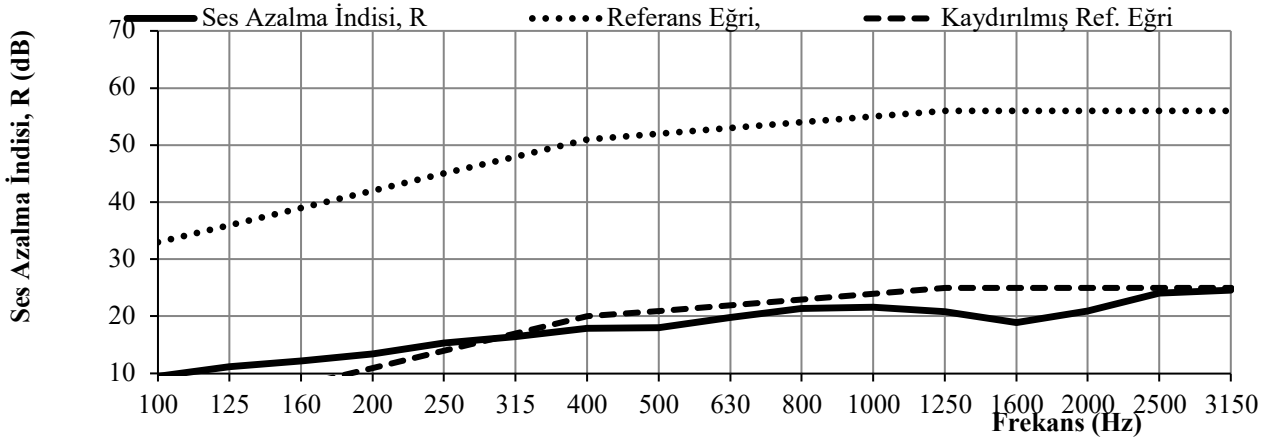
	R	Ref R	Difference	Shifted Ref	Revised Diff	Shift value:	Ref C	Diff	10^(Diff/10)	Ref C_{tr}	Diff	10^(Diff/10)
100	23.8	33	9.2	11	-12.8	22	-29	-52.8	5.2723E-06	-20	-43.8	4.18794E-05
125	24.8	36	11.2	14	-10.8		-26	-50.8	8.2604E-06	-20	-44.8	3.28852E-05
160	24.8	39	14.2	17	-7.8		-23	-47.8	1.6596E-05	-18	-42.8	5.24807E-05
200	26.2	42	15.8	20	-6.2		-21	-47.2	1.9143E-05	-16	-42.2	6.05341E-05
250	27.4	45	17.6	23	-4.4		-19	-46.4	2.3067E-05	-15	-42.4	5.79429E-05
315	26.3	48	21.7	26	-0.3		-17	-43.3	4.6666E-05	-14	-40.3	9.31108E-05
400	27.8	51	23.2	29	1.2		-15	-42.8	5.2845E-05	-13	-40.8	8.37529E-05
500	28.6	52	23.4	**30**	1.4		-13	-41.6	6.9183E-05	-12	-40.6	8.70964E-05
630	28.6	53	24.4	31	2.4		-12	-40.6	8.6896E-05	-11	-39.6	0.000109396
800	28.6	54	25.4	32	3.4		-11	-39.6	0.0001099	-9	-37.6	0.000174181
1000	27.5	55	27.5	33	5.5		-10	-37.5	0.00017824	-8	-35.5	0.000282488
1250	28.2	56	27.9	34	5.9		-9	-37.2	0.00019275	-9	-37.2	0.000192752
1600	30.1	56	25.9	34	3.9		-9	-39.1	0.00012246	-10	-40.1	9.72747E-05
2000	32.4	56	23.6	34	1.6		-9	-41.4	7.2778E-05	-11	-43.4	4.59198E-05
2500	34.4	56	21.6	34	-0.4		-9	-43.4	4.5709E-05	-13	-47.4	1.8197E-05
3150	36.2	56	19.8	34	-2.2		-9	-45.2	3.013E-05	-15	-51.2	7.56833E-06
			332.4		25.3	<32 dB		**C=**	**0**		**C_{tr}=**	**-2**

Çizelge B.27: LC-2B1R8-3.50 (120 mm)

	R	Ref R	Difference	Shifted Ref	Revised Diff	Shift value:	Ref C	Diff	10^(Diff/10)	Ref C_{tr}	Diff	10^(Diff/10)
100	22.5	33	10.5	11	-11.5	22	-29	-51.5	7.0469E-06	-20	-42.5	5.59758E-05
125	22.9	36	13.1	14	-8.9		-26	-48.9	1.2853E-05	-20	-42.9	5.11682E-05
160	24.8	39	14.2	17	-7.8		-23	-47.8	1.6596E-05	-18	-42.8	5.24807E-05
200	25.6	42	16.4	20	-5.6		-21	-46.6	2.1727E-05	-16	-41.6	6.87068E-05
250	26.9	45	18.1	23	-3.9		-19	-45.9	2.5704E-05	-15	-41.9	6.45654E-05
315	26.5	48	21.5	26	-0.5		-17	-43.5	4.4771E-05	-14	-40.5	8.93305E-05
400	27.1	51	23.9	29	1.9		-15	-42.1	6.2087E-05	-13	-40.1	9.84011E-05
500	27	52	25.0	**30**	3.0		-13	-40.0	9.977E-05	-12	-39.0	0.000125603
630	26.1	53	26.9	31	4.9		-12	-38.1	0.00015631	-11	-37.1	0.000196789
800	26.1	54	27.9	32	5.9		-11	-37.1	0.00019634	-9	-35.1	0.000311172
1000	28.6	55	26.4	33	4.4		-10	-38.6	0.00013709	-8	-36.6	0.00021727
1250	31.1	56	24.9	34	2.9		-9	-40.1	9.8628E-05	-9	-40.1	9.86279E-05
1600	32	56	24.0	34	2.0		-9	-41.0	7.8886E-05	-10	-42.0	6.26614E-05
2000	35.3	56	20.7	34	-1.3		-9	-44.3	3.7325E-05	-11	-46.3	2.35505E-05
2500	37.6	56	18.4	34	-3.6		-9	-46.6	2.208E-05	-13	-50.6	8.79023E-06
3150	40.3	56	15.7	34	-6.3		-9	-49.3	1.1668E-05	-15	-55.3	2.93089E-06
			327.7		25.1	<32 dB		**C=**	**0**		**C_{tr}=**	**-2**



Şekil B.60: LC-2B1R8-3.50 (120 mm)



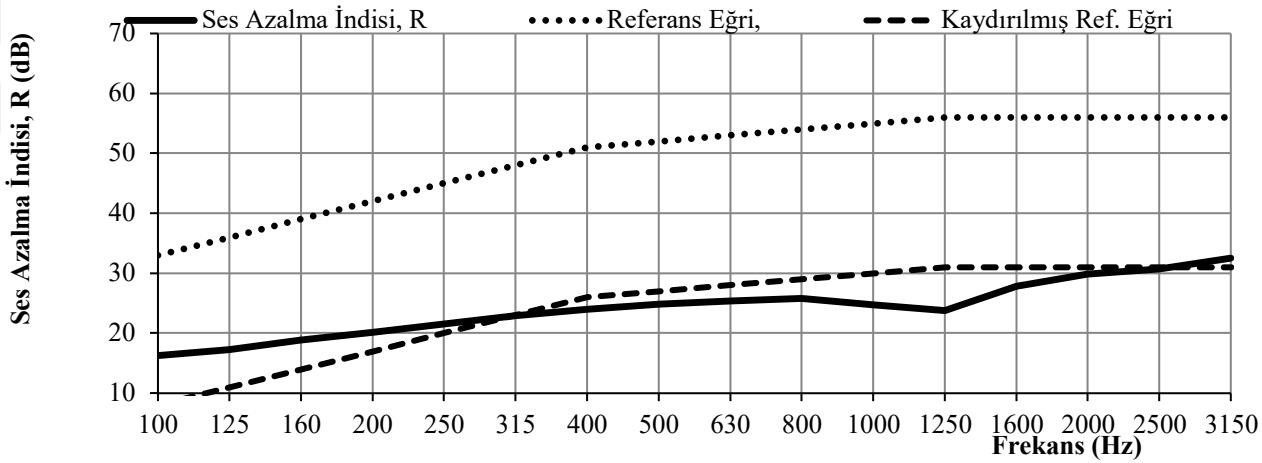
Şekil B.61: LC-2R1B8-2 (60 mm)

Çizelge B.28: LC-2R1B8-2 (60 mm)

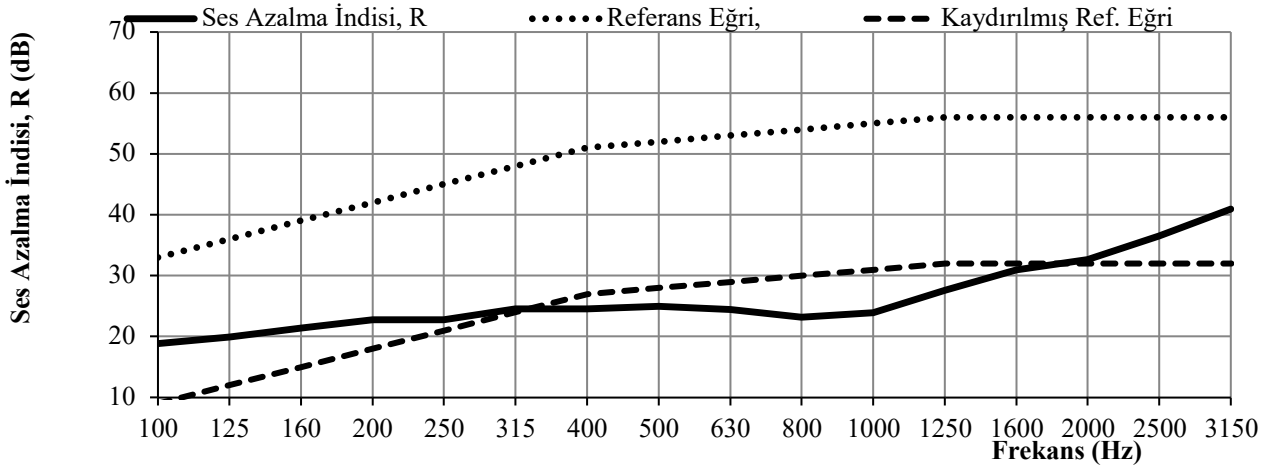
	R	Ref R	Difference	Shifted Ref	Revised Diff	Shift value:	Ref C	Diff	10^(Diff/10)	Ref C_{tr}	Diff	10^(Diff/10)
100	9.51	33	23.5	2	-7.5	31	-29	-38.5	0.00014093	-20	-29.5	0.001119438
125	11.2	36	24.8	5	-6.2		-26	-37.2	0.00019099	-20	-31.2	0.000760326
160	12.2	39	26.8	8	-4.2		-23	-35.2	0.00030479	-18	-30.2	0.000963829
200	13.5	42	28.6	11	-2.5		-21	-34.5	0.00035892	-16	-29.5	0.001135011
250	15.3	45	29.7	14	-1.3		-19	-34.3	0.00037068	-15	-30.3	0.000931108
315	16.4	48	31.6	17	0.6		-17	-33.4	0.0004529	-14	-30.4	0.000903649
400	18	51	33.0	20	2.0		-15	-33.0	0.00050466	-13	-31.0	0.000799834
500	18.1	52	34.0	**21**	3.0		-13	-31.1	0.00078524	-12	-30.1	0.000988553
630	19.9	53	33.1	22	2.1		-12	-31.9	0.00065163	-11	-30.9	0.000820352
800	21.5	54	32.6	23	1.6		-11	-32.5	0.00056885	-9	-30.5	0.000901571
1000	21.6	55	33.4	24	2.4		-10	-31.6	0.00069024	-8	-29.6	0.001093956
1250	20.8	56	35.2	25	4.2		-9	-29.8	0.00104472	-9	-29.8	0.00104472
1600	18.9	56	37.1	25	6.1		-9	-27.9	0.0016293	-10	-28.9	0.001294196
2000	21	56	35.0	25	4.0		-9	-30.0	0.00100693	-11	-32.0	0.000635331
2500	24	56	32.0	25	1.0		-9	-33.0	0.00049659	-13	-37.0	0.000197697
3150	24.6	56	31.4	25	0.4		-9	-33.6	0.00043551	-15	-39.6	0.000109396
			501.7		27.3	<32 dB		**C=**	**-1**		**C_{tr}=**	**-2**

Çizelge B.29: LC-2R1B8-2 (90 mm)

	R	Ref R	Difference	Shifted Ref	Revised Diff	Shift value:	Ref C	Diff	10^(Diff/10)	Ref C_{tr}	Diff	10^(Diff/10)
100	16.3	33	16.7	8	-8.3	25	-29	-45.3	2.9717E-05	-20	-36.3	0.000236048
125	17.3	36	18.7	11	-6.3		-26	-43.3	4.7206E-05	-20	-37.3	0.000187932
160	18.8	39	20.2	14	-4.8		-23	-41.8	6.5464E-05	-18	-36.8	0.000207014
200	20.2	42	21.8	17	-3.2		-21	-41.2	7.6033E-05	-16	-36.2	0.000240436
250	21.6	45	23.4	20	-1.6		-19	-40.6	8.7498E-05	-15	-36.6	0.000219786
315	22.9	48	25.1	23	0.1		-17	-39.9	0.00010186	-14	-36.9	0.000203236
400	24	51	27.0	26	2.0		-15	-39.0	0.0001256	-13	-37.0	0.000199067
500	24.8	52	27.2	**27**	2.2		-13	-37.8	0.0001652	-12	-36.8	0.00020797
630	25.4	53	27.7	28	2.7		-12	-37.4	0.00018408	-11	-36.4	0.000231739
800	25.8	54	28.2	29	3.2		-11	-36.8	0.00020845	-9	-34.8	0.00033037
1000	24.8	55	30.2	30	5.2		-10	-34.8	0.0003342	-8	-32.8	0.000529663
1250	23.8	56	32.2	31	7.2		-9	-32.8	0.00052481	-9	-32.8	0.000524807
1600	27.9	56	28.1	31	3.1		-9	-36.9	0.00020559	-10	-37.9	0.000163305
2000	29.9	56	26.1	31	1.1		-9	-38.9	0.00013002	-11	-40.9	8.20352E-05
2500	30.7	56	25.3	31	0.3		-9	-39.7	0.00010691	-13	-43.7	4.25598E-05
3150	32.5	56	23.5	31	-1.5		-9	-41.5	7.0307E-05	-15	-47.5	1.76604E-05
			401.4		27.1	<32 dB		**C=**	**-1**		**C_{tr}=**	**-3**



Şekil B.62: LC-2R1B8-2 (90 mm)



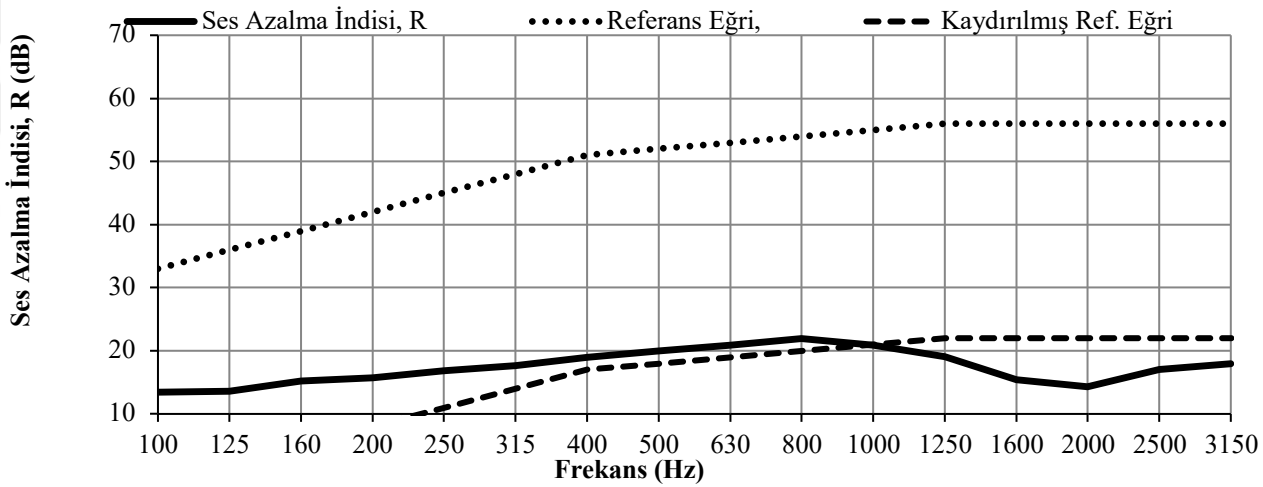
Şekil B.63: LC-2R1B8-2 (120 mm)

Çizelge B.30: LC-2R1B8-2 (120 mm)

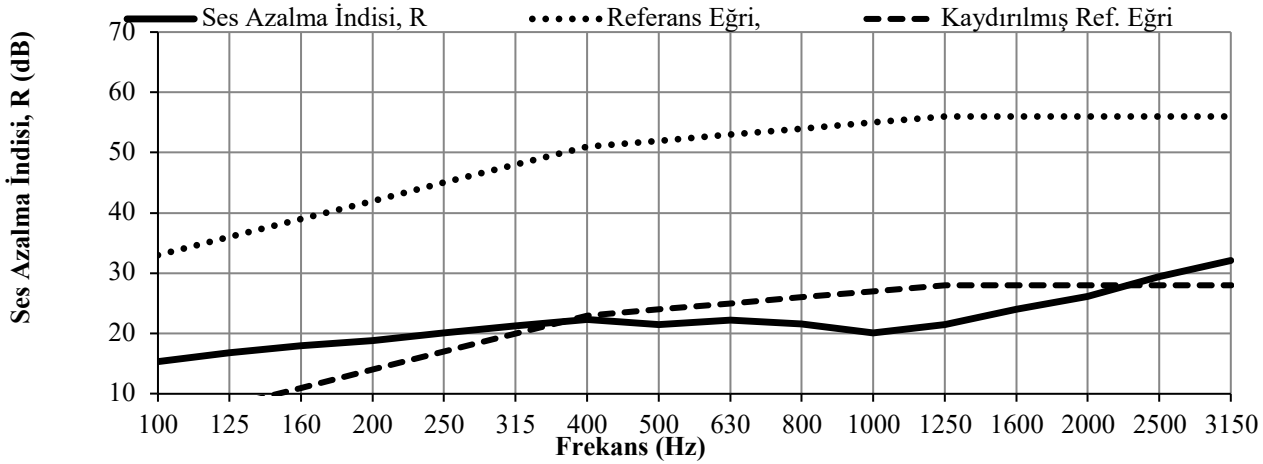
	R	Ref R	Difference	Shifted Ref	Revised Diff	Shift value:	Ref C	Diff	10^(Diff/10)	Ref C_{tr}	Diff	10^(Diff/10)
100	18.9	33	14.2	9	-9.9	24	-29	-47.9	1.6406E-05	-20	-38.9	0.000130317
125	19.9	36	16.1	12	-7.9		-26	-45.9	2.5468E-05	-20	-39.9	0.000101391
160	21.4	39	17.6	15	-6.4		-23	-44.4	3.6058E-05	-18	-39.4	0.000114025
200	22.7	42	19.3	18	-4.7		-21	-43.7	4.2364E-05	-16	-38.7	0.000133968
250	22.8	45	22.2	21	-1.8		-19	-41.8	6.6681E-05	-15	-37.8	0.000167494
315	24.6	48	23.4	24	-0.6		-17	-41.6	6.9502E-05	-14	-38.6	0.000138676
400	24.6	51	26.5	27	2.5		-15	-39.6	0.00011092	-13	-37.6	0.000175792
500	25	52	27.0	**28**	3.0		-13	-38.0	0.00015922	-12	-37.0	0.000200447
630	24.5	53	28.6	29	4.6		-12	-36.5	0.00022646	-11	-35.5	0.000285102
800	23.2	54	30.8	30	6.8		-11	-34.2	0.00038282	-9	-32.2	0.000606736
1000	23.9	55	31.1	31	7.1		-10	-33.9	0.00040458	-8	-31.9	0.00064121
1250	27.6	56	28.4	32	4.4		-9	-36.6	0.00021677	-9	-36.6	0.00021677
1600	30.9	56	25.1	32	1.1		-9	-39.9	0.00010162	-10	-40.9	8.07235E-05
2000	32.6	56	23.4	32	-0.6		-9	-41.6	6.9183E-05	-11	-43.6	4.36516E-05
2500	36.5	56	19.5	32	-4.5		-9	-45.5	2.8184E-05	-13	-49.5	1.12202E-05
3150	40.9	56	15.1	32	-8.9		-9	-49.9	1.0139E-05	-15	-55.9	2.54683E-06
			368.0		29,4	<32 dB		**C=**	**-1**		**C_{tr}=**	**-3**

Çizelge B.31: LC-2R1B8-3.5 (60 mm)

	R	Ref R	Difference	Shifted Ref	Revised Diff	Shift value:	Ref C	Diff	10^(Diff/10)	Ref C_{tr}	Diff	10^(Diff/10)
100	13.4	33	19.6	-1	-14.4	34	-29	-42.4	5.7016E-05	-20	-33.4	0.000452898
125	13.6	36	22.5	2	-11.6		-26	-39.6	0.00011092	-20	-33.6	0.00044157
160	15.2	39	23.8	5	-10.2		-23	-38.2	0.00015205	-18	-33.2	0.000480839
200	15.7	42	26.3	8	-7.7		-21	-36.7	0.00021429	-16	-31.7	0.000677642
250	16.8	45	28.2	11	-5.8		-19	-35.8	0.00026363	-15	-31.8	0.000662217
315	17.7	48	30.3	14	-3.7		-17	-34.7	0.00034198	-14	-31.7	0.000682339
400	19	51	32.1	17	-2.0		-15	-34.0	0.00040272	-13	-32.0	0.000638263
500	20	52	32.0	**18**	-2.0		-13	-33.0	0.00050003	-12	-32.0	0.000629506
630	20.9	53	32.2	19	-1.9		-12	-32.9	0.0005188	-11	-31.9	0.000653131
800	21.9	54	32.1	20	-1.9		-11	-32.9	0.00050816	-9	-30.9	0.000805378
1000	20.9	55	34.2	21	0.1		-10	-30.9	0.00082224	-8	-28.9	0.001303167
1250	19.1	56	36.9	22	2.9		-9	-28.1	0.00155955	-9	-28.1	0.001559553
1600	15.4	56	40.6	22	6.6		-9	-24.4	0.00359749	-10	-25.4	0.002857591
2000	14.3	56	41.7	22	7.7		-9	-23.3	0.00467735	-11	-25.3	0.002951209
2500	17	56	39.0	22	5.0		-9	-26.0	0.00250611	-13	-30.0	0.0009977
3150	17.9	56	38.1	22	4.1		-9	-26.9	0.00202768	-15	-32.9	0.000509331
			509.3		26.4	<32 dB		**C=**	**-1**		**C_{tr}=**	**0**



Şekil B.64: LC-2R1B8-3.5 (60 mm)



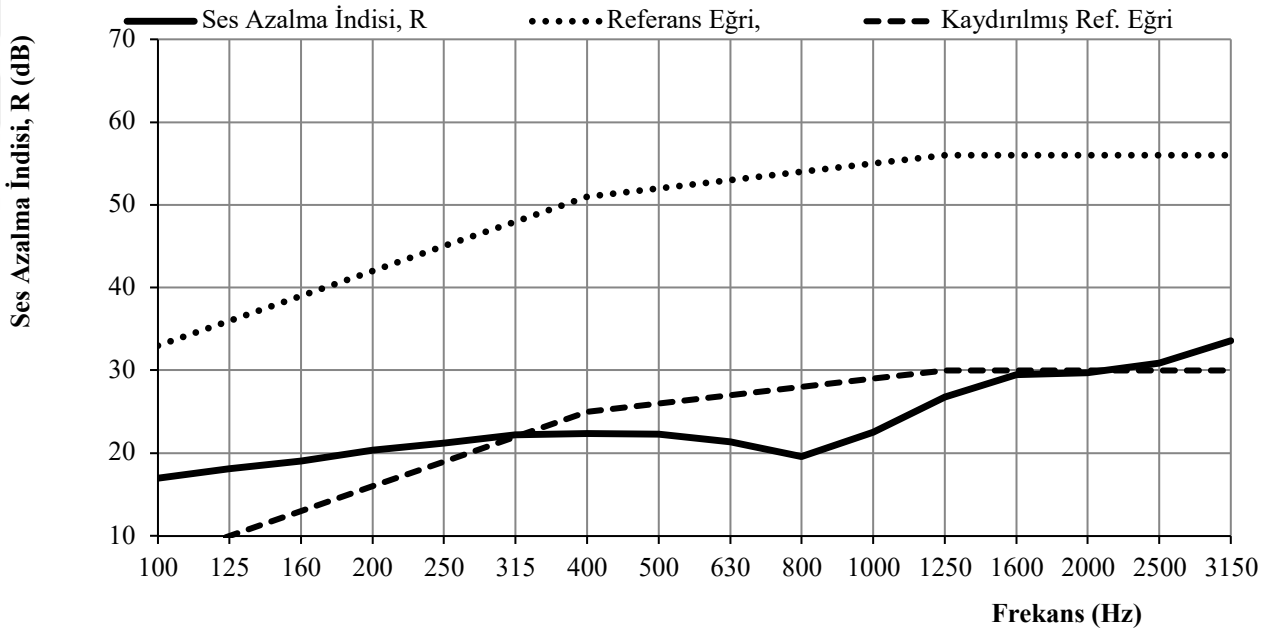
Şekil B.65: LC-2R1B8-3.5 (90 mm)

Çizelge B.32: LC-2R1B8-3.5 (90 mm)

	R	Ref R	Difference	Shifted Ref	Revised Diff	Shift value:	Ref C	Diff	10^(Diff/10)	Ref C_{tr}	Diff	10^(Diff/10)
100	15.3	33	17.7	5	-10.3	28	-29	-44.3	3.6898E-05	-20	-35.3	0.000293089
125	16.8	36	19.2	8	-8.8		-26	-42.8	5.2481E-05	-20	-36.8	0.00020893
160	18	39	21.0	11	-7.0		-23	-41.0	7.9616E-05	-18	-36.0	0.000251768
200	18.8	42	23.2	14	-4.8		-21	-39.8	0.00010423	-16	-34.8	0.00032961
250	20.1	45	24.9	17	-3.1		-19	-39.1	0.00012218	-15	-35.1	0.000306902
315	21.3	48	26.7	20	-1.3		-17	-38.3	0.00014894	-14	-35.3	0.000297167
400	22.3	51	28.7	23	0.7		-15	-37.3	0.00018493	-13	-35.3	0.000293089
500	21.5	52	30.5	**24**	2.5		-13	-34.5	0.0003581	-12	-33.5	0.000450817
630	22.2	53	30.8	25	2.8		-12	-34.2	0.00038282	-11	-33.2	0.000481948
800	21.6	54	32.4	26	4.4		-11	-32.6	0.00055208	-9	-30.6	0.000874984
1000	20.1	55	34.9	27	6.9		-10	-30.1	0.00097949	-8	-28.1	0.001552387
1250	21.4	56	34.6	28	6.6		-9	-30.4	0.00090573	-9	-30.4	0.000905733
1600	24.1	56	32.0	28	4.0		-9	-33.1	0.00049545	-10	-34.1	0.00039355
2000	26.2	56	29.8	28	1.8		-9	-35.2	0.00030269	-11	-37.2	0.000190985
2500	29.5	56	26.6	28	-1.5		-9	-38.5	0.00014289	-13	-42.5	5.68853E-05
3150	32.1	56	23.9	28	-4.1		-9	-41.1	7.7446E-05	-15	-47.1	1.94536E-05
			436.8		29.7	<32 dB		**C=**	**-1**		**C_{tr}=**	**-2**

Çizelge B.33: LC-2R1B8-3.5 (120 mm)

	R	Ref R	Difference	Shifted Ref	Revised Diff	Shift value:	Ref C	Diff	10^(Diff/10)	Ref C_{tr}	Diff	10^(Diff/10)
100	17	33	16.0	7	-10.0	26	-29	-46.0	2.5235E-05	-20	-37.0	0.000200447
125	18.1	36	17.9	10	-8.1		-26	-44.1	3.8815E-05	-20	-38.1	0.000154525
160	19.1	39	19.9	13	-6.1		-23	-42.1	6.1944E-05	-18	-37.1	0.000195884
200	20.4	42	21.7	16	-4.4		-21	-41.4	7.3282E-05	-16	-36.4	0.000231739
250	21.2	45	23.8	19	-2.2		-19	-40.2	9.4624E-05	-15	-36.2	0.000237684
315	22.2	48	25.8	22	-0.2		-17	-39.2	0.0001205	-14	-36.2	0.000240436
400	22.3	51	28.7	25	2.7		-15	-37.3	0.0001845	-13	-35.3	0.000292415
500	22.3	52	29.7	**26**	3.7		-13	-35.3	0.00029309	-12	-34.3	0.000368978
630	21.4	53	31.6	27	5.6		-12	-33.4	0.00046132	-11	-32.4	0.000580764
800	19.6	54	34.4	28	8.4		-11	-30.6	0.00086696	-9	-28.6	0.001374042
1000	22.5	55	32.5	29	6.5		-10	-32.5	0.00055719	-8	-30.5	0.00088308
1250	26.8	56	29.3	30	3.3		-9	-35.8	0.00026607	-9	-35.8	0.000266073
1600	29.5	56	26.5	30	0.5		-9	-38.5	0.00014158	-10	-39.5	0.00011246
2000	29.8	56	26.2	30	0.2		-9	-38.8	0.00013305	-11	-40.8	8.3946E-05
2500	30.9	56	25.1	30	-0.9		-9	-39.9	0.0001028	-13	-43.9	4.09261E-05
3150	33.6	56	22.4	30	-3.6		-9	-42.6	5.5081E-05	-15	-48.6	1.38357E-05
			411.4		30.8	<32 dB		**C=**	**-1**		**C_{tr}=**	**-3**



Şekil B.66: LC-2R1B8-3.5 (120 mm)

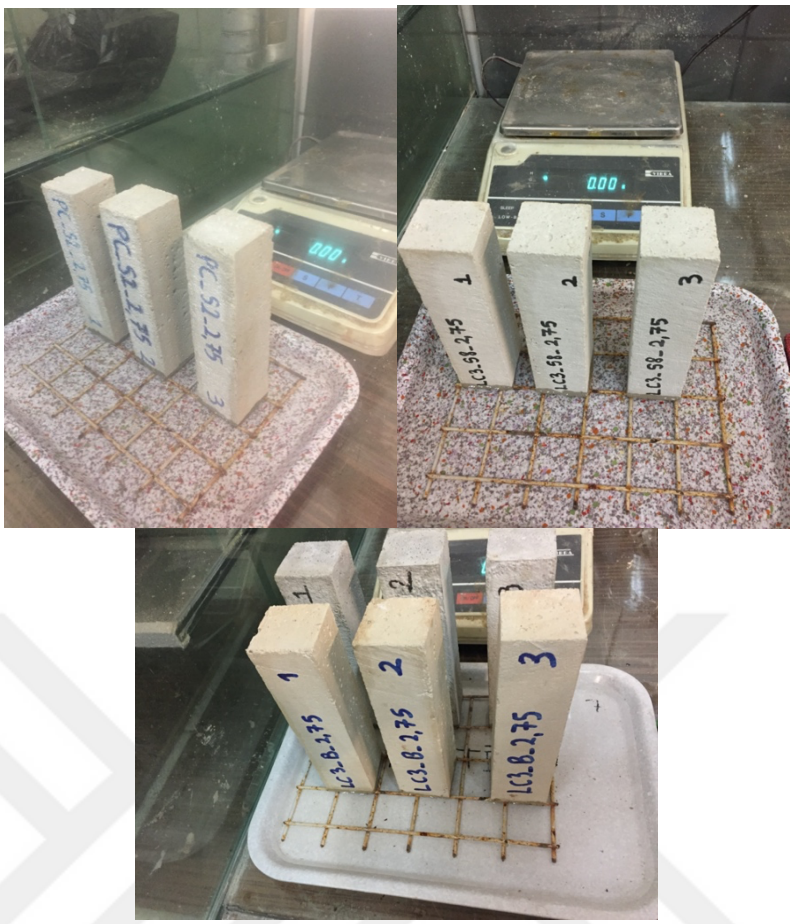
EK C: Laboratuvar deney görselleri.



Şekil C.1: Taze harç deneyleri.



Şekil C.1 (devamı): Taze harç deneyleri.



Şekil C.2: Kapiler su emme tayini.



Şekil C.3: Atmosfer basıncı altında su emme deneyi.



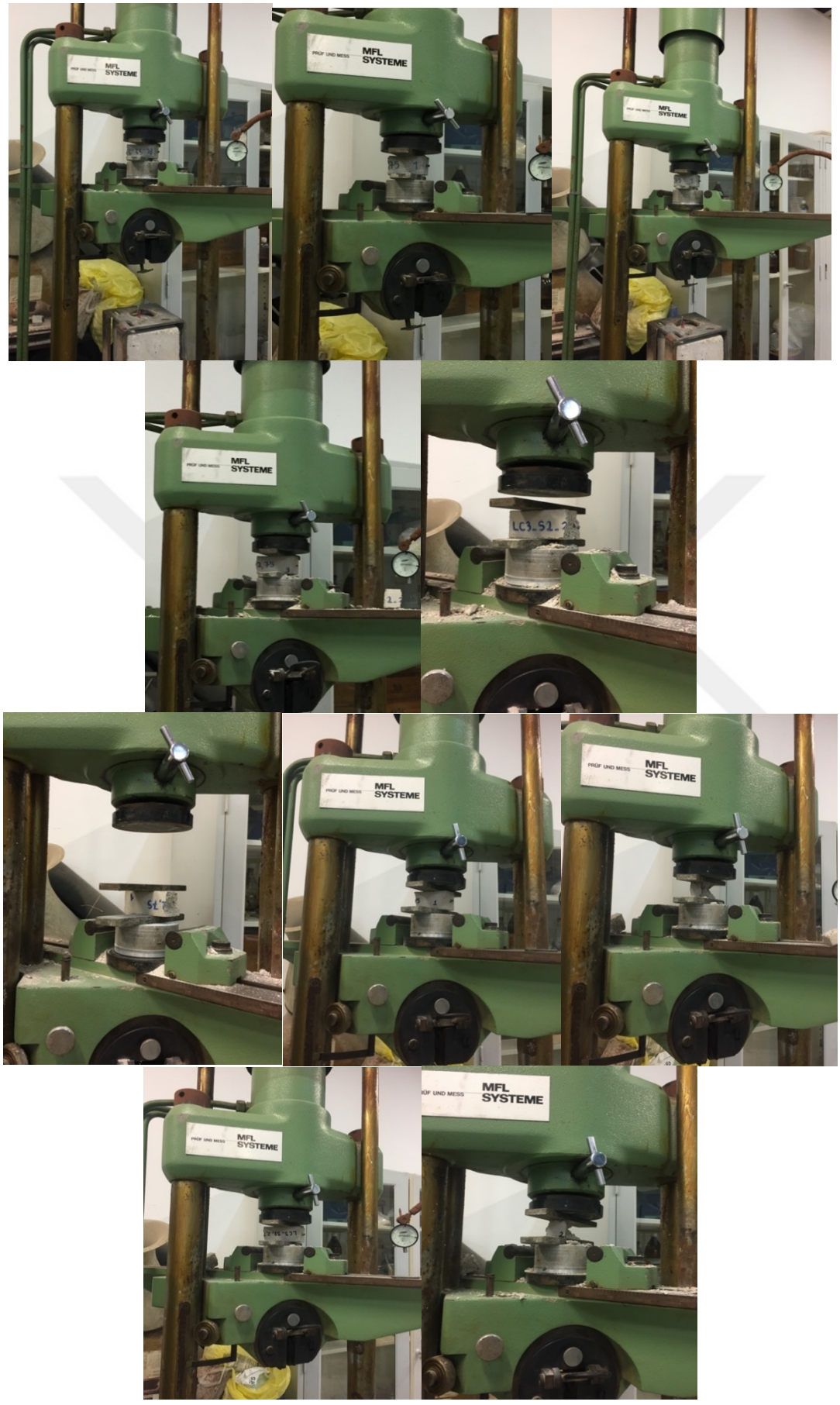
Şekil C.4: Ultrases hızı deneyi.



Şekil C.5: Numunelerin kürlenmesi.



Şekil C.6: Özgül ağırlık deneyi.



Şekil C.7: Basınç dayanımı deneyi.



Şekil C.8: Eğilme dayanımı deneyi.



Şekil C.8 (devamı): Eğilme dayanımı deneyi.



Şekil C.8 (devamı): Eğilme dayanımı deneyi.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad **:** Begüm SÖYEK ABAY

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** **:** 2013, Yeditepe Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü
- **Yüksek Lisans** **:** 2015, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Bilgisi Programı

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Söyek Abay, B., Tanacan, L.** 2022. Sound transmission loss of LC^3-based mortars with barite and waste rubber, *Building Acoustics*, 29(4):503-528.
- **Söyek Abay B, Tanaçan L.** 2023. A review on Limestone Calcined Clay Cement (LC^3) as an alternative ecological binder. *2nd International Conference on Innovative Academic Studies*, January 28-31, 2023 Konya ,Turkey.

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

Uluslararası hakemli dergilerde yayınlanan makaleler

- **Izadpanah, S., Kaynakcı Elinç, Z., Söyek Abay, B., Küçükköseler, T.** 2020. Türkiye'deki İçmimarlık Eğitiminde Staj Uygulamalarının Değerlendirilmesi. *Uluslararası Mühendislik Tasarım Ve Teknoloji Dergisi*, 2(1), 1-9.

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında (Proceeding) basılan bildiriler

- **Ardizzola, P., Bölükbaş Dayı, E., Söyek, B.** 2017. A Shelter is not Enough: A Pattern for Refugees' Social Life. *6th International Alvar Aalto Meeting on Contemporary Architecture- Technology Humanism,* (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No:3659262).

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan bildiri kitabında basılan bildiriler

- **Ertürk Serpil, F., Söyek Abay, B.** 2020. Antalya Arkeoloji Müzesi İç Mekan Değerlendirmesi, *DOCOMOMO_TR Türkiye'de Modern İç Mekânlar Sempozyumu 1*, Özyeğin Üniversitesi (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum).
- **Söyek Abay, B., Ertürk Serpil, F.** 2018. Şehir Dışı Üniversite Yerleşkelerinde Gürültü Denetiminin Değerlendirilmesi: Antalya Bilim Üniversitesi Örneği. *4. Ulusal Yapı Kongresi ve Sergisi: Yapı Sektöründe Yenilikçi Yaklaşımlar*, 487-500. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No:4606532)

Projeler

- **Proje Adı:** Barit ve Atık Kauçuk Agregalı Kireçtaşı-Kalsine Kil-Çimentolu (LC^3) Malzemenin Ses İletim Kaybı Üzerine Bir Araştırma, İTÜ BAP Koordinatörlüğü, Proje Numarası: 42480, Yürütücü: Prof. Dr. Leyla Tanaçan, Araştırmacı: Begüm Söyek Abay (ULUSAL)